

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Roko Vrdoljak-Colo

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Roko Vrdoljak-Colo

Zagreb, 2017.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Roko Vrdoljak-Colo

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr. sc. Igoru Balenu, na stručnim savjetima i pruženoj pomoći.

Posebne zahvale zaposlenicima tvrtke Damax projekt, čiji su savjeti doprinijeli izradi ovog diplomskog rada.

Na posljetku, neizmjereno se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je pružila moralnu i financijsku potporu i time olakšala proces studiranja.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Roko Vrdoljak Colo**

Mat. br.: 0035191535

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava klimatizacije trgovine**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of air-conditioning system for department store**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je izraditi projekt sustava klimatizacije u zračno-vodenoj izvedbi za potrebe trgovine kozmetičkim proizvodima s pratećim prostorima, korisne površine 1900 m², prema zadanoj arhitektonskoj podlozi.

Trgovina se nalazi u sklopu trgovačkog centra te za nju treba predvidjeti vlastitu toplinsku/rashladnu stanicu i strojarnicu klimatizacije, smještene na ravnom krovu. Kao izvor topline, predvidjeti dizalicu topline zrak-voda.

Trgovina se nalazi na području grada Rijeke.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro-priključak 220/380V; 50Hz
- vodovodni priključak tlaka 5 bar

Rad treba sadržavati:

- analizu sustava klimatizacije prodajnih prostora s osnovnim shemama,
- toplinsku bilancu za zimsko i ljetno razdoblje,
- tehničko rješenje toplinske i rashladne stanice te klima strojarnice,
- toplinsku i količinsku bilancu razvoda vode sustava klimatizacije,
- toplinsku i količinsku bilancu razvoda zraka sustava klimatizacije,
- hidraulički proračun cijevne mreže ogrjevnog i rashladnog medija te kanalnog razvoda zraka,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu automatske regulacije,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.


Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednica Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD.....	1
2. ANALIZA SUSTAVA KLIMATIZACIJE PRODAJNIH PROSTORA S OSNOVNIM SHEMAMA.....	2
3. OPIS ZGRADE	5
4. TOPLINSKA BILANCA TRGOVINE ZA ZIMSKO I LJETNO RAZDOBLJE	6
4.1 PRORAČUN TOPLINSKIH GUBITAKA PREMA HRN EN 12831	7
4.2 PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078	11
5. DIMENZIONIRANJE ZRAČNOG SUSTAVA	15
5.1 VENTILACIJSKI ZAHTJEVI	16
5.2 DIMENZIONIRANJE KANALSKOG RAZVODA.....	20
5.2.1 Dobavni i odsisni otvori.....	20
5.2.2 Regulatori protoka	25
5.2.3 Padovi tlaka kritičnih dionica kanalskog razvoda	27
5.2.4 Odsisni kanalski ventilator.....	30
5.3 DIMENZIONIRANJE I ODABIR KLIMATIZACIJSKIH JEDINICA	31
5.3.1 Priprema zraka za prodajni prostor	33
5.3.2 Priprema zraka za pomoćne prostorije.....	35
5.3.3 Odabir klimatizacijske jedinice za prodajni prostor	39
5.3.4 Odabir rekuperatorske jedinice za pomoćne prostorije.....	44
6. DIMENZIONIRANJE VODENOG SUSTAVA.....	46
6.1 DIMENZIONIRANJE OGRJEVNIH/RASHLADNIH TIJELA	46
6.2 ODABIR IZVORA OGRJEVNOG I RASHLADNOG UČINA.....	49
6.2.1 Prodajni prostor.....	50
6.2.2 Pomoćne prostorije	54
6.3 HIDRAULIČKI PRORAČUN CIJEVNE MREŽE I ODABIR PUMPI.....	55
6.3.1 Prodajni prostor.....	55
6.3.2 Pomoćne prostorije	62
6.4 DIMENZIONIRANJE I ODABIR EKSPANZIJSKE POSUDE	66
7. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA	69
7.1 GRIJANJE/HLAĐENJE.....	69
7.1.1 Prodajni prostor.....	69
7.1.2 Pomoćne prostorije	70
7.2 VENTILACIJA.....	71
7.2.1 Prodajni prostor.....	71

7.2.2 Pomoćne prostorije	72
8. ZAKLJUČAK.....	74
LITERATURA.....	75
PRILOZI.....	76

POPIS SLIKA

Slika 2.1 – Centralna priprema zraka s odvojenim ventilokonvektorima [2]	2
Slika 3.1 – Tlocrt trgovine.....	5
Slika 4.1 – Postupak proračuna toplinskog opterećenja grijane prostorije [5].....	7
Slika 5.1 – Prikaz ulaznih parametara prilikom dimenzioniranja dobavnih otvora	21
Slika 5.2 – Dobavni i odsisni otvor za prostor prodaje FD-Q.....	23
Slika 5.3 – Dobavni otvor za prostor skladišta RA-0-ZR/250	23
Slika 5.4 – Odsisna rešetka za prostor skladišta TRS-R/325x75	23
Slika 5.5 – Dobavni i odsisni otvor za pomoćne prostorije DQJA	24
Slika 5.6 – Odsisni otvor za sanitarne prostorije ZOV	24
Slika 5.7 – Odabrani varijabilni regulator protoka RVP-C.....	25
Slika 5.8 – Regulator konstantnog protoka RKP-C	26
Slika 5.9 – Regulator konstantnog protoka KVR-R.....	26
Slika 5.10 – Odsisni kanalski ventilator KVO 160 s prikazom radne točke.....	30
Slika 5.11 – Osnovne komponente klimatizacijske jedinice prodajnog prostora	31
Slika 5.12 – Osnovne komponente rekuperatorske jedinice pomoćnih prostorija.....	31
Slika 5.13 – Proces pripreme zraka prodajnog prostora za ljetni i zimski režim rada	34
Slika 5.14 – Proces pripreme zraka pomoćnih prostorija za ljetni i zimski režim rada	38
Slika 5.15 – Klimatizacijska jedinica za pripremu zraka prodajnog prostora.....	39
Slika 5.16 – Protukišna rešetka klima jedinice Geniox Comfort 20DR.....	40
Slika 5.17 – Regulacijska žaluzina klima jedinice Geniox Comfort 20DR	40
Slika 5.18 – Vrećasti filter klima jedinice Geniox Comfort 20DR.....	40
Slika 5.19 – Prigušivač zvuka klima jedinice Geniox Comfort 20DR.....	41
Slika 5.20 – Prazna sekcija klima jedinice Geniox Comfort 20DR	41
Slika 5.21 – Inspeksijska sekcija klima jedinice Geniox Comfort 20DR	41
Slika 5.22 – Sorpcijski rotirajući regeneratorski klima jedinice Geniox Comfort 20DR.....	42
Slika 5.23 – Grijач/Hladnjak klima jedinice Geniox Comfort 20DR	42
Slika 5.24 – Dobavni/odsisni ventilator klima jedinice Geniox Comfort 20DR	43
Slika 5.25 – Odabrana podstropna rekuperatorska jedinica za pomoćne prostorije	44
Slika 6.1 – Kazetni ventilokonvektori FCLI [9]	46
Slika 6.2 – Parapetni ventilokonvektori FCX [9].....	46
Slika 6.3 – Dizalica topline NRL0650 zrak-voda za prostor prodaje [9].....	50
Slika 6.4 – Linija ledišta otopine etilen-glikola u vodi [10].....	51
Slika 6.5 – Radno područje dizalice topline prodajnog prostora za period grijanja	52
Slika 6.6 – Radno područje dizalice topline prodajnog prostora za period hlađenja	53
Slika 6.7 – Dizalica topline zrak-voda za pomoćne prostorije [11]	54
Slika 6.8 – Dodatni hidroblok za dizalicu topline zrak-voda pomoćnih prostorija [11].....	54
Slika 6.9 – Radne karakteristike pumpe koja dolazi u sklopu hidrobloka dizalice topline prodajnog prostora (linija 650HE) [9].....	56
Slika 6.10 – Pumpa sekundarnog kruga razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik	58
Slika 6.11 – Radna točka pumpe sekundarnog kruga razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik ..	59
Slika 6.12 – Pumpa sekundarnog kruga razdjelnik-klima jedinica-sabirnik.....	60
Slika 6.13 – Radna točka pumpe sekundarnog kruga razdjelnik-klima jedinica-sabirnik	61
Slika 6.14 – Pumpa kruga hidroblok dizalice topline-spremnik	62
Slika 6.15 – Radna točka pumpe kruga hidroblok dizalice topline-spremnik	63
Slika 6.16 – Radna točka pumpe kruga potrošača	65
Slika 6.17 – Membranska ekspanzijska posuda za vodeni sustav pomoćnih prostorija	68

POPIS TABLICA

Tablica 4.1 – Koeficijenti prolaza topline	6
Tablica 4.2 – Rezultati proračuna toplinskih gubitaka prostorija	10
Tablica 4.3 – Vršno toplinsko opterećenje pojedinih prostorija u različitim vremenskim trenucima	13
Tablica 4.4 – Ukupno projektno toplinsko opterećenje za četiri projektna dana - zona 1	14
Tablica 4.5 – Ukupno projektno toplinsko opterećenje za četiri projektna dana - zona 2	14
Tablica 5.1 – Minimalni ventilacijski zahtjevi prema broju osoba [7]	16
Tablica 5.2 – Proračun volumnog protoka vanjskog zraka za potrebe ventilacije.....	18
Tablica 5.3 – Odabrani volumni protoci vanjskog zraka za potrebe ventilacije	19
Tablica 5.4 – Popis odabranih dobavnih otvora s pripadajućim padom tlaka.....	22
Tablica 5.5 – Popis odabranih odsisnih otvora s pripadajućim padom tlaka	22
Tablica 5.6 – Kataloške vrijednosti regulatora varijabilnog protoka RVP-C	25
Tablica 5.7 – Kritična dionica dobavnog i odsisnog kanalskog razvoda prodaje	27
Tablica 5.8 – Kritična dionica dobavnog i odsisnog kanalskog razvoda pomoćnih prostorija	28
Tablica 5.9 – Kritična dionica odsisnog kanalskog razvoda sanitarnih prostorija.....	29
Tablica 5.10 – Korigirana potreba za hlađenjem prostorija (vršna opterećenja)	36
Tablica 5.11 – Korigirana potreba za ukupnim hlađenjem pomoćnih prostorija (ukupno toplinsko opterećenje)	37
Tablica 6.1 – Potreban i instalirani toplinski učin ventilokonvektora.....	47
Tablica 6.2 – Dimenzioniranje ventilokonvektora	48
Tablica 6.3 – Pad tlaka kruga dizalica topline-razdjelnik/sabirnik (prodajni prostor).....	56
Tablica 6.4 – Pad tlaka kruga razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik (prodajni prostor).....	57
Tablica 6.5 – Pad tlaka sekundarnog kruga razdjelnik-klima jedinica-sabirnik	60
Tablica 6.6 – Pad tlaka kruga hidroblok dizalice topline-spremnik.....	62
Tablica 6.7 – Pad tlaka kruga potrošača.....	64
Tablica 6.8 – Ukupni volumen vode u komponentama vodenog sustava prodajnog prostora.	67
Tablica 6.9 – Ukupni volumen vode u komponentama vodenog sustava pomoćnih prostorija	68

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

CRTEŽ 1	Dispozicija opreme – tlocrt trgovine
CRTEŽ 2	Dispozicija opreme – tlocrt ravnog krova
CRTEŽ 3	Funkcionalna shema spajanja i shema automatske regulacije vodenog sustava prodajnog prostora
CRTEŽ 4	Funkcionalna shema spajanja i shema automatske regulacije vodenog sustava pomoćnih prostorija
CRTEŽ 5	Funkcionalna shema ventilacije prodajnog prostora
CRTEŽ 6	Funkcionalna shema ventilacije pomoćnih prostorija
CRTEŽ 7	Izometrijski prikaz vodenog sustava prodajnog prostora
CRTEŽ 8	Izometrijski prikaz vodenog sustava pomoćnih prostorija
CRTEŽ 9	Izometrijski prikaz zračnog sustava prodajnog prostora
CRTEŽ 10	Izometrijski prikaz zračnog sustava pomoćnih prostorija

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
Φ_i	W	Projektni toplinski gubici prostorije
$\Phi_{T,i}$	W	Projektni transmisijski gubici topline prostorije
$\Phi_{V,i}$	W	Projektni ventilacijski gubici topline prostorije
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	Stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
$H_{V,i}$	W/K	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
$\vartheta_{int,i}$	°C	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
ϑ_e	°C	Vanjska projektna temperatura
$\Phi_{RH,i}$	W	Toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja
A_i	m ²	Površina poda grijanog prostora sa ½ debljine zidova
f_{RH}	W/m ²	Korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida rada
$\Phi_{HL,i}$	W	Toplinsko opterećenje grijane prostorije
\dot{V}_o	m ³ /h	Volumni protok vanjskog zraka
N	-	Broj osoba
$\dot{V}_{o,p}$	m ³ /h	Volumni protok vanjskog zraka po osobi
ACH	h ⁻¹	Broj izmjena zraka po satu
V	m ³	Volumen prostorije
Φ_2	-	Stupanj povrata osjetne topline
t_{22}	°C	Temperatura vanjskog zraka na izlazu iz regeneratora
t_{21}	°C	Temperatura vanjskog zraka na ulasku u regenerator
t_{11}	°C	Temperatura unutarnjeg zraka na ulasku u regenerator
Ψ_2	-	Stupanj povrata vlage
x_{22}	kg _w /kg _{sz}	Sadržaj vlage vanjskog zraka na izlazu iz regeneratora
x_{21}	kg _w /kg _{sz}	Sadržaj vlage vanjskog zraka na ulasku u regenerator
x_{11}	kg _w /kg _{sz}	Sadržaj vlage unutarnjeg zraka na ulasku u regenerator
Φ_{gr}	W	Potreban ogrjevnii učin grijača
Φ_{hl}	W	Potreban rashladni učin hladnjaka
\dot{V}_{VZ}	m ³ /s	Volumni protok vanjskog zraka
ρ_z	kg/m ³	Gustoća zraka
c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet
$\Delta\vartheta_z$	°C	Temperaturna razlika zraka prije i poslije grijača

Δh_z	J/kg	Razlika specifičnih entalpija zraka
W1	-	Projektno vanjsko stanje zraka za zimsko razdoblje
W2	-	Stanje zraka po izlasku iz regeneratora, zima
W3	-	Stanje zraka po izlasku iz grijača, zima
W4	-	Projektno unutarnje stanje zraka za zimsko razdoblje
S1	-	Projektno vanjsko stanje zraka za ljetno razdoblje
S2	-	Stanje zraka po izlasku iz regeneratora, ljetno
S3	-	Stanje zraka po izlasku iz hladnjaka, ljetno
S4	-	Stanje zraka iza ventilatora, ljetno
S5	-	Projektno unutarnje stanje zraka za ljetno razdoblje
$\Phi_{\text{ventilacija}}$	W	Pokriveno ili uneseno toplinsko opterećenje ventilacijom
$\Phi_{\text{CL,i}}$	W	Toplinsko opterećenje hladne prostorije
$\Phi_{\text{g,uk}}$	W	Ukupno instalirani toplinski učin grijanja
$\Phi_{\text{h,uk}}$	W	Ukupno instalirani toplinski učin hlađenja
Φ_{g}	W	Toplinski učin grijanja ventilokonvektora
Φ_{h}	W	Toplinski učin hlađenja ventilokonvektora
$\vartheta_{\text{z,g}}$	°C	Temperatura zraka po izlasku iz ventilokonvektora, grijanje
$\vartheta_{\text{z,h}}$	°C	Temperatura zraka po izlasku iz ventilokonvektora, hlađenje
$\dot{V}_{\text{w,g}}$	l/s	Volumni protok vode kroz ventilokonvektor, grijanje
$\dot{V}_{\text{w,h}}$	l/s	Volumni protok vode kroz ventilokonvektor, hlađenje
$\Delta p_{\text{w,g}}$	kPa	Pad tlaka na strani vode ventilokonvektora, grijanje
$\Delta p_{\text{w,h}}$	kPa	Pad tlaka na strani vode ventilokonvektora, hlađenje
Br.	-	Broj dionice
L	m	Dužina dionice
Φ_{inst}	W	Ukupno instalirani kapacitet
\dot{m}	kg/s	Maseni protok
c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet
ϕD_{xs}	mm	Vanjski promjer cijevi x debljina stijenke cijevi
$\Sigma \zeta$	-	Zbroj lokalnih koeficijenata pada tlaka
Z	Pa	Lokalni pad tlaka
R	Pa/m	Linijski pad tlaka iskazan po jednom metru cijevi (jedinični pad tlaka).
$V_{\text{n,min}}$	l	Minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude
V_e	l	Volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda od 35°C
V_v	l	Dodatni volumen, uzima se oko 0,5% volumena vode u instalaciji, minimalno 3 litre
p_e	bar	Projektni krajnji tlak, povezan s točkom otvaranja sigurnosnog ventila (kod sustava koji rade pri tlakovima

		manjim od 5 bara procjenjuje se na 0,5 bara ispod tlaka sigurnosnog ventila)
p_o	bar	Primarni tlak ekspanzijske posude (tlak plina prilikom isporuke)
n	%	Postotak širenja (dobije se linearnom interpolacijom između tabličnih vrijednosti za najvišu temperaturu polaza koja iznosi 35°C)
V_A	l	Ukupni volumen vode u sustavu

SAŽETAK

Glavna tema ovog diplomskog rada je projektiranje klimatizacijskog sustava za prostor trgovine ukupne korisne površine 1900 m^2 . Trgovina se nalazi u sklopu trgovačkog centra na području grada Rijeke. Prostor trgovine dijeli se na dvije zone, prostor prodaje i pomoćne prostorije. Za svaku od navedenih zona uvodi se zaseban klimatizacijski sustav izveden u zračno-vodenoj izvedbi, međusobno neovisan.

Ukupni toplinski gubici i toplinska opterećenja trgovine u potpunosti se pokrivaju vodenim sustavom. Unutar vodenog sustava prodajnog prostora cirkulira otopina etilen-glikola s masenim udjelom od 25%. Kao ogrjevnica/rashladna tijela predviđeni su ventilokonvektori u parapetnoj i stropnoj izvedbi. Temperaturni režim vode za grijanje iznosi $35/30^\circ\text{C}$. Za potrebe hlađenja cirkulira voda režima $7/12^\circ\text{C}$. Kao izvor topline koriste se dvije dizalice topline zrak-voda smještene na ravnom krovu trgovačkog centra.

Zračni sustavi trgovine koriste se za potrebe ventilacije i održavanja kvalitete zraka. Za zonu prodajnog prostora predviđena je vanjska klimatizacijska jedinica smještena na ravnom krovu. Klimatizacijska jedinica radi s promjenjivim protokom zraka. Projektni dobavni protok zraka iznosi $9600 \text{ m}^3/\text{h}$, a odsisni protok $8600 \text{ m}^3/\text{h}$. Za potrebe ventilacije pomoćnih prostorija ugrađuje se rekuperatorska jedinica podstropno u hodnik. Dobavni i odsisni protoci su konstantni i jednaki te iznose $950 \text{ m}^3/\text{h}$. Sanitarne prostorije imaju zasebnu odsisnu ventilaciju s konstantnim protokom iznosa $250 \text{ m}^3/\text{h}$. Odsisni ventilator uključuje se u rad s dobivenim signalom od senzora prisutnosti.

Uz tehničke proračune, koji definiraju izbor opreme, prilaže se funkcionalna shema spajanja sustava i shema automatske regulacije te crteži kojima se definira raspored i montaža opreme.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, ventilacija, klimatizacija, trgovina, trgovački centar, dizalica topline, ventilokonvektori

SUMMARY

The main topic of this master's thesis is the design of an air conditioning system, which is to be used in a department store with a total usable floor area of 1900 m². The department store is located within a shopping mall in the city of Rijeka. The interior of the store is divided into two zones, a sales zone and an auxiliary rooms zone. Each of these two zones has its own separate air-water air conditioning system.

Both the total heat losses and heat loads of the department store are fully covered by the water system. Within the sales zone water distribution system, a solution of ethylene glycol is circulated with a by weight percentage of 25%. Cassette and floor fan coils are used as inside heating and cooling units. The temperature regime of water in heating mode is 35/30°C. For cooling purposes, water circulates at a temperature regime of 7/12°C. Two air to water heat pumps, located on the flat roof, are used for heating or cooling water.

Air systems of the department store are used for ventilation purposes and maintenance of interior air quality. Fresh air is delivered to the sales area by a central air handling unit, which is located on the flat roof. The supply air volume flow rate is 9600 m³/h, while the return volume flow rate is 8600 m³/h. For the auxiliary rooms ventilation purposes, a heat recovery unit is installed inside the corridors suspended ceiling. Both the supply and return air volume flow rates are constant and equal to 950 m³/h. The sanitary rooms have a separate exhaust ventilation with a constant volume flow rate of 250 m³/h. The duct fan is switched on by a signal from the presence sensor.

Alongside the technical calculations, which define the equipment choice, functional and control system schemes are attached, as well as drawings that define the arrangement and installation of the equipment.

Key words: heating, cooling, ventilation, air conditioning, department store, shopping mall, heat pump, fan coils

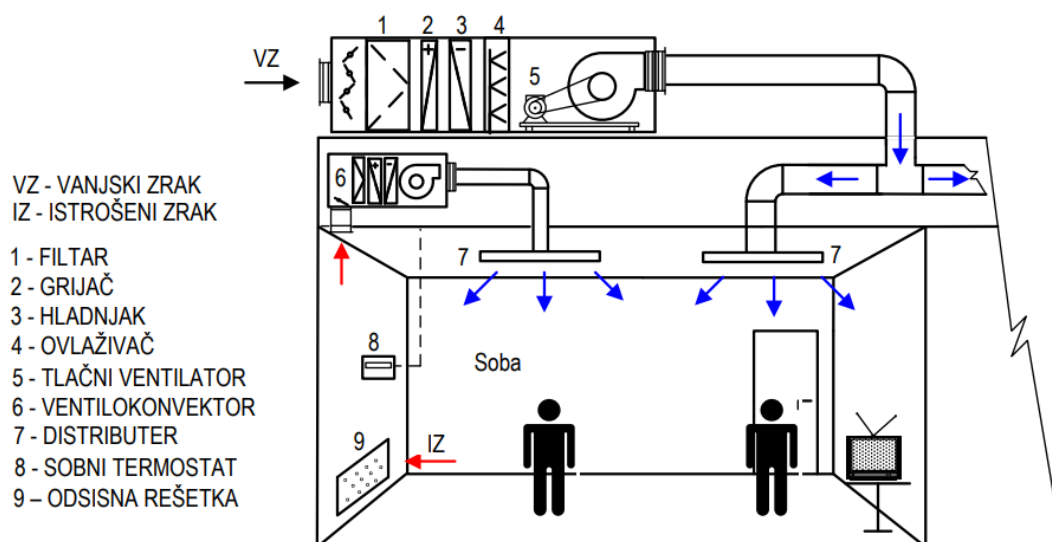
1. UVOD

U okviru trgovačkog centra, planira se uređenje jednog od postojećih lokala za potrebe zakupca. Potrebno je dati tehničko rješenje sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije. Prikazanim radom nastoji se odabrati energetski učinkovito i funkcionalno rješenje. Osim teme energetske efikasnosti sustava, velika pažnja se pridodaje temi toplinske ugodnosti. Toplinska ugodnost se definira kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša [1]. Na toplinsku ugodnost utječe temperatura zraka u prostoriji, temperature ploha prostorije, vlažnost zraka, strujanje zraka, razina odjevenosti, razina fizičke aktivnosti i ostali faktori kao što su npr. buka i kvaliteta zraka. Unutrašnji prostor trgovine dijeli se na prodajni prostor i pomoćne prostorije u kojima se mogu javiti različite potrebe za grijanjem ili hlađenjem. Razina fizičke aktivnosti se u navedenim prostorijama razlikuje. Može se pretpostaviti da ljudi u prodajnom prostoru imaju nešto veću razinu fizičke aktivnosti (hodanje) u odnosu na ljude koji borave u pomoćnim prostorijama, gdje prevladava sjedenje na radnom mjestu. Ispunjenje mogućih različitih zahtjeva na toplinsku ugodnost boravka u prostorima ostvaruje se razdvajanjem sustava trgovine na dvije zone.

Sustavom grijanja, ventilacije i klimatizacije nastoji se zadovoljiti toplinska ugodnost što većeg broja ljudi. Osjećaj toplinske ugodnosti je individualan i uvjetovan toplinskom ravnotežom tijela u odnosu na okoliš. Zadovoljiti zahtjeve svake osobe je teško, ali se postotak nezadovoljnih osoba treba držati ispod 10% (PPD indeks, *eng. Predicted Percentage of Dissatisfied*).

2. ANALIZA SUSTAVA KLIMATIZACIJE PRODAJNIH PROSTORA S OSNOVNIM SHEMAMA

Kako bi se primijenio odgovarajući sustav klimatizacije prodajnih prostora i kako bi se odabrala odgovarajuća oprema, potrebno je poznavati dostupne energetske izvore za sustav grijanja, ventilacije i klimatizacije (GVik) i prostorna ograničenja (mogućnosti ugradnje opreme). Trgovine s raznovrsnim artiklima variraju po veličini i lokaciji, stoga se sustavi odabiru u ovisnosti o specifičnoj situaciji. Podjela klimatizacijskih sustava trgovine je na zračne i zračno-vodene sustave. Kod zračnih sustava cjelokupno toplinsko opterećenje se pokriva zrakom. U slučaju zračno-vodene izvedbe, pokrivanje toplinskih gubitaka i toplinskih opterećenja vrši se korištenjem vode kao ogrjevnog/rashladnog medija preko vodenog sustava koji ima kompaktnije dimenzije od zračnog. Najčešće korišteni krajnji elementi su ventilokonvektori (niskotlačni razvod) i induksijski uređaji (visokotlačni razvod) [2]. Vanjski zrak se priprema u centralnoj klimatizacijskoj jedinici uglavnom za pokrivanje ventilacijskih zahtjeva, ali može sudjelovati i u pokrivanju određenog iznosa toplinskog opterećenja. Na Slika 2.1 prikazana je pojednostavljena shema zračno-vodenog sustava s centralnom pripremom zraka i odvojenim ventilokonvektorima.



Slika 2.1 – Centralna priprema zraka s odvojenim ventilokonvektorima [2]

Zračni sustav prodajnih prostora rješava se odabirom paketnih krovnih jedinica ili korištenjem centralnog sustava. Centralni sustavi se često koriste kod većih prodajnih prostora. Glavne razlike u konstrukciji i radnim karakteristikama između navedenih sustava su sljedeće [3]:

- Paketni sustavi uglavnom koriste izmjenjivač s direktnom ekspanzijom za kondicioniranje dobavnog zraka, dok centralni sustavi koriste vodene izmjenjivače u kojima cirkulira ogrjevnog/rashladna voda.
- Izvor ogrjevnog/rashladnog učina nalazi se u sklopu paketne jedinice te je rad reguliran izlaznom temperaturom dobavnog zraka. Kod centralnih sustava, izvori ogrjevnog i rashladnog učina su obično zasebni sustavi sa zasebnom regulacijom, smješteni odvojeno od centralne zračne jedinice.
- Općenito, unutar paketnih jedinica koriste se nisko, srednje i visokoučinski filteri zraka, dok se u centralnim zračnim jedinicama koriste srednje i visokoučinski filteri.
- Paketne jedinice su već tvornički napravljene i složene, dok se kod centralnih jedinica klimatizacijska oprema projektira i proizvodi po narudžbi, prilagođena za smještaj i primjenu na konkretnoj građevini.
- Prednosti paketnih sustava, u odnosu na centralne sustave, obično su niži investicijski troškovi, manje zahtijevanog prostora za smještaj opreme, brža i jednostavnija ugradnja.

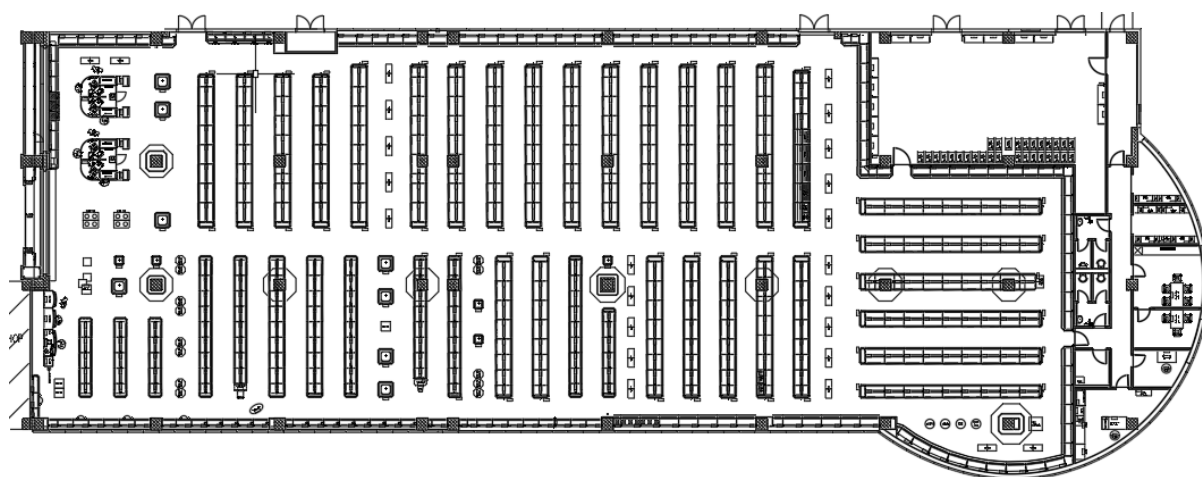
Za manje prodajne prostore, uglavnom se odabiru zračni sustavi s konstantnim protokom. U slučaju većih prodajnih prostora, gdje su i zahtijevani protoci veći, koriste se klimatizacijske jedinice s varijabilnim protokom zraka (*eng. VAV, Variable Air Volume*). Velika varijabilnost ljudi u prostoru prodaje tijekom radnog vremena opravdava korištenje VAV sustava. Značajne uštede u pogonskim troškovima mogu se ostvariti promjenom brzine vrtnje ventilatora, odnosno varijabilnom regulacijom protoka vanjskog zraka u ovisnosti o unutarnjoj kvaliteti zraka. Osim uštede na pogonu ventilatora, ostvaruju se uštede i na toplinskoj energiji potrebnoj za dovodenje vanjskog zraka na željeno stanje ubacivanja, budući da su protoci manji [3]. U mnogim okolnostima, dobar indikator unutarnje kvalitete zraka je koncentracija CO₂. Osjetnik se može postaviti unutar prostorije na reprezentativnom mjestu ili unutar odsisnog kanala. Ukoliko se zrak dovodi u više odvojenih prostorija,

preporučuje se postavljanje osjetnika CO₂ zasebno za svaku prostoriju. Svaki od osjetnika upravlja regulatorom varijabilnog protoka koji se postavlja u dobavni kanal. Unutar prostora prodaje ne postoji striktan zahtjev za održavanjem točno određene vrijednosti relativne vlažnosti, ali bi ispravno projektiran i izveden sustav trebao održavati vlažnost oko $\varphi=50\%$ u ljetnom režimu rada. Sustavi ovlaživanja zraka unutar klimatizacijskih jedinica se rijetko koriste.

Odabir sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije je za prodajne prostore najviše uvjetovan ekonomskom računicom. Za male prodajne prostore, investicijski trošak je obično odlučujući faktor. Za veće prodajne prostore, u obzir se osim investicijskih troškova uzimaju i pogonski troškovi te troškovi održavanja [4].

3. OPIS ZGRADE

Trgovački centar nalazi se na području grada Rijeke i sastoji se od više poslovnih prostora. Poslovni prostor, koji je predmet ovog rada (Slika 3.1), nalazi se na etaži +5. Ukupna korisna površina trgovine iznosi 1900 m². Osnovna djelatnost je trgovina kozmetičkim proizvodima i kućnim potrepštinama. Lokal je orijentiran prema centralnom prostoru trgovačkog centra s kojim je povezan staklenom stijenom, izlogom i rolo vratima. Tijekom radnog vremena, prostor prodaje je otvoren prema centralnom prostoru, a izvan radnog vremena se zatvara prozračnom podiznom rešetkom. Predmetni lokal svojom sjeverozapadnom stranom, koju čine ulazni portal lokala te izlog, graniči sa zajedničkim hodnikom trgovačkog centra. Sjeveroistočna, jugoistočna i jugozapadna strana dio su vanjske fasade trgovačkog centra. Granica prema susjednim prostorima definirana je vertikalnim gips-kartonskim zidovima debljine 20 cm, visine do nosive konstrukcije stropa. Što se tiče prostorne organizacije, najveći dio trgovine čini prostor prodaje koji se nalazi u središnjem dijelu cjelokupnog prostora lokala, koncipiran kao otvoreni prostor s regalima, izložbenim/prodajnim vitrinama i policama. U jugoistočnom dijelu trgovine, uz fasadu prodajnog centra, nalaze se prostori osoblja (garderobe, sanitarije, čajna kuhinja, uredi i spremište za čistačice), dok se u sjeveroistočnom dijelu poslovnog prostora nalazi skladište i tehnička prostorija.



Slika 3.1 – Tlocrt trgovine

4. TOPLINSKA BILANCA TRGOVINE ZA ZIMSKO I LJETNO RAZDOBLJE

Toplinska bilanca trgovine za zimsko i ljetno razdoblje bitna je s aspekta odabira ogrjevnih i rashladnih uređaja odgovarajućih kapaciteta. Proračun toplinskih gubitaka vrši se prema HRN EN 12831. U proračunu se uzimaju u obzir transmisijski i ventilacijski toplinski gubici kao i dodatni potrebni kapacitet uslijed intermitentnog načina rada (rad s prekidima grijanja). Proračun toplinskih opterećenja računa se prema VDI 2078. U proračunu se uzimaju u obzir toplinski dobici transmisijom, infiltracijom te solarni i unutarnji dobici.

Za potrebe proračuna toplinskih bilanci, nužno je definirati fiziku zgrade, odnosno sastav poda, stropa, vanjskih i unutrašnjih zidova. Također, kao ulazni podatak bitna su svojstva prozora i vrata. U Tablica 4.1 prikazane su vrijednosti koeficijenta prolaza topline U ($W/(m^2 \cdot K)$) korištene u proračunu. Utjecaj toplinskih mostova uzima se u obzir povećanjem koeficijenta prolaza topline za svaki građevni dio oplošja zgrade za $\Delta U_{TM} = 0,05 W/(m^2 \cdot K)$.

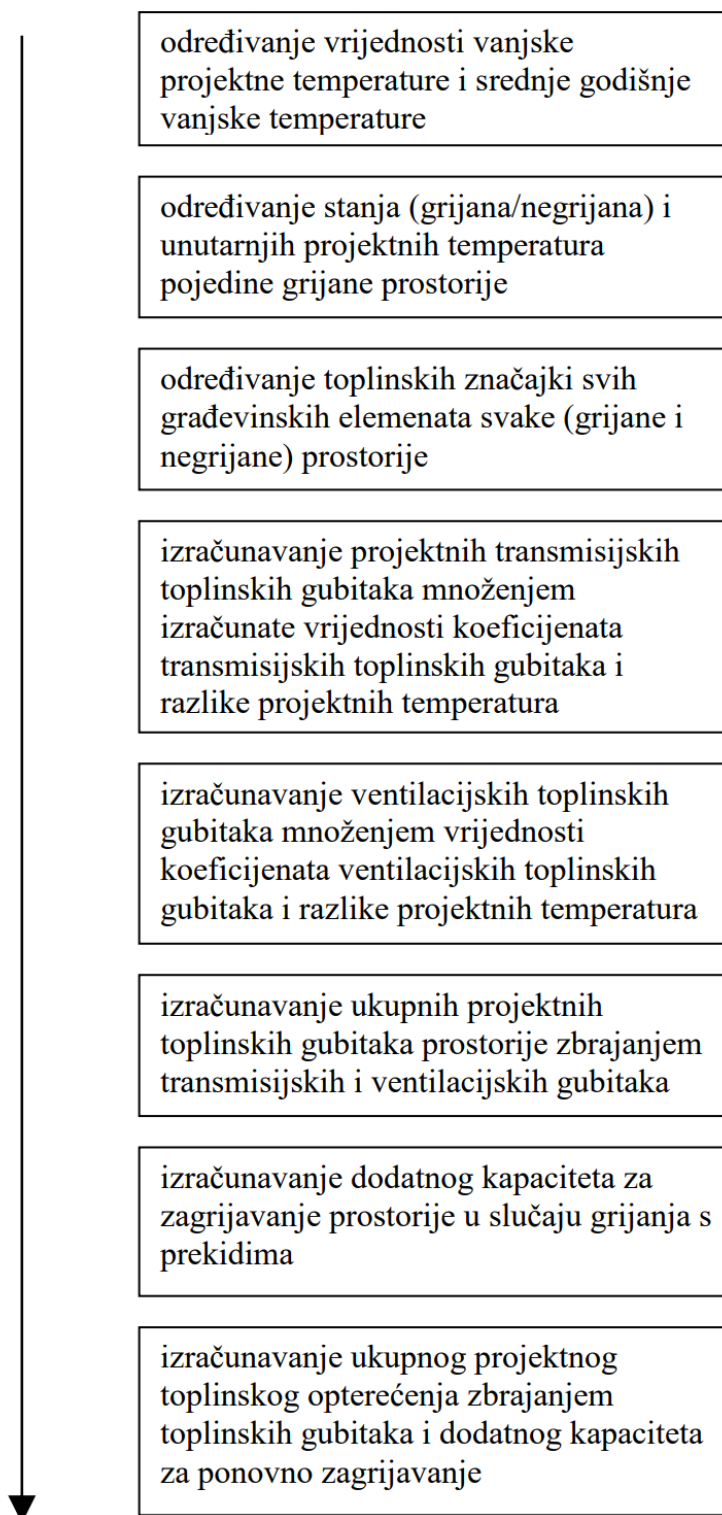
Tablica 4.1 – Koeficijenti prolaza topline

Oznaka	Građevni element	U
		$W/(m^2 \cdot K)$
VZ	Vanjski zid	0,3
VP	Prozor	1,6
K	Ravni krov	0,25
VRV	Vrata vanjska	2
VRU	Vrata unutarnja	2,2
UZ	Unutarnji zid	0,6

Korištene su vanjske projektne temperature za grad Rijeka (zima $-7,7^{\circ}C$, ljetno $+31,8^{\circ}C$). Unutarnje projektne temperature mogu se pronaći u tablicama proračuna toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja.

4.1 PRORAČUN TOPLINSKIH GUBITAKA PREMA HRN EN 12831

Redoslijed proračuna prema normi HRN EN 12831 opisuje Slika 4.1.



Slika 4.1 – Postupak proračuna toplinskog opterećenja grijane prostorije [5]

Projektni toplinski gubici prostorije računaju se kao zbroj projektnih transmisijskih gubitaka i projektnih ventilacijskih gubitaka topline prostorije:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (4.1)$$

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad (4.2)$$

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad (4.3)$$

Φ_i	W	Projektni toplinski gubici prostorije
$\Phi_{T,i}$	W	Projektni transmisijski gubici topline prostorije
$\Phi_{V,i}$	W	Projektni ventilacijski gubici topline prostorije
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	Stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
$H_{V,i}$	W/K	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
$\vartheta_{int,i}$	°C	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
ϑ_e	°C	Vanjska projektna temperatura

Proračunski izrazi za koeficijente transmisijskih i ventilacijskih gubitaka mogu se pronaći u normi [5].

Prostori s prekidima grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje do projektne temperature prostorije nakon što se ona u periodu prekida grijanja snizi [5].

Toplina za zagrijavanje ovisi o:

- toplinskom kapacitetu elemenata građevine;
- vremenu zagrijavanja;
- temperaturnom padu tijekom prekida grijanja;
- svojstvima sustava regulacije.

Toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja računa se prema jednadžbi:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad (4.4)$$

$\Phi_{RH,i}$	W	Toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja
A_i	m ²	Površina poda grijanog prostora sa ½ debljine zidova
f_{RH}	W/m ²	Korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida rada

Toplinsko opterećenje grijane prostorije računa se kao zbroj projektnih toplinskih gubitaka i dodatnog toplinskog toka potrebnog za zagrijavanje uslijed prekida grijanja:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i} \quad (4.5)$$

$\Phi_{HL,i}$	W	Toplinsko opterećenje grijane prostorije
---------------	---	--

Kod proračuna toplinskih gubitaka, prostor spušenog stropa je promatran kao negrijano područje. Temperatura zraka unutar spušenog stropa izračunata je pojednostavljenom metodom. Pretpostavljeno je stacionarno stanje u kojem je suma toplinskih tokova kroz zidove jednaka nuli. Izračunata temperatura u prostoru spušenog stropa iznosi 18,8°C. Izraz za izračun temperature je sljedeći:

$$\vartheta_{spušteni\ strop} = \frac{\sum_i (UA)_{int,i} \cdot \vartheta_{int,i} + \sum_j (UA)_{ue,j} \cdot \vartheta_e}{\sum_i (UA)_{int,i} + \sum_j (UA)_{ue,j}} \quad (4.6)$$

Za usporedbu je dodatno napravljen proračun toplinskih gubitaka, gdje se spušteni strop ne promatra kao zaseban (negrijan) prostor. Dobiveni iznos ukupnog toplinskog opterećenja je za 1,68% veći od iznosa dobivenog u proračunu gdje se spušteni strop promatra kao negrijani prostor. Na temelju dobivenog rezultata, može se zaključiti da u slučaju uvođenja pretpostavke zanemarivanja spušenog stropa kao zasebnog prostora ne dolazi do velike pogreške. Računanje toplinskih gubitaka bez promatranja spušenog stropa kao negrijanog prostora je jednostavniji proces, zahtjeva manje utrošenog vremena, dobiveno odstupanje smatra se zanemarivim te je stoga opravdan postupak za korištenje.

Rezultati proračuna toplinskih gubitaka prostorija prikazani su u Tablica 4.2.

Tablica 4.2 – Rezultati proračuna toplinskih gubitaka prostorija

Oznaka	Prostorija	A_i	$\vartheta_{\text{int},i,g}$	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	$\Phi_{RH,i}$	$\Phi_{HL,i}$	$q_{HL,i}$
		m^2	$^{\circ}\text{C}$	W	W	W	W	W/m^2
1	Prodaja	1673,54	21	24403	29698	18409	72510	43
2	Skladište	142,34	15	1772	1545	1566	4883	34
3	Hodnik 1	18,74	21	592	206	206	1004	54
4	Garderoba M.	10,98	24	795	308	121	1224	112
5	Garderoba Ž.	11,46	24	564	332	126	1022	89
6	Čajna kuhinja	20,32	21	567	213	224	1003	49
7	Soba za odmor	12,09	21	313	204	133	650	54
8	Detektiv	9,27	21	373	118	102	593	64
9	Trezor	22,26	21	1085	253	245	1583	71
10	Soba/čistačice	5,95	21	45	0	65	110	19
11	WC ženski	8,58	21	65	0	94	159	19
12	WC muški	8,58	21	84	0	94	178	21
13	Hodnik 2	24,62	21	218	40	271	529	21
Ukupno				30876	32918	21656	85449	43

Prostor prodaje i pomoćnih prostorija odjeljuje se na dva zasebna izvora topline. Za prostor prodaje potreban je ogrjevni učin od 72,51 kW, dok pomoćne prostorije zahtijevaju 12,94 kW.

4.2 PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078

Kako bi se mogli odabrati ventilokonvektori i dizalica topline zrak-voda odgovarajućeg rashladnog kapaciteta, potrebno je izvršiti proračun toplinskog opterećenja za vrijeme toplijih mjeseci kada se prostorije hlade. Proračun toplinskog opterećenja u ljetnim mjesecima vrši se prema smjernici VDI 2078. Uzrok toplinskog opterećenja su vanjski i unutarnji dobici. Pod vanjske dobitke ulaze toplinski dobici kroz vanjske zidove, krov i prozore, solarni toplinski dobici kroz ostakljenja zgrade, toplinski dobici kroz pregradne zidove i unutarnja vrata te infiltracija vanjskog zraka u hlađeni prostor. Unutarnji dobici mogu biti od osoba koje borave u prostoru, rasvjete, različite opreme i uređaja koje se nalaze unutar prostora [6].

Rezultati toplinskih opterećenja dobiveni su uz pomoć računalnog programa IntegraCAD u kojem se proračun vrši za nekoliko sati u projektnom danu u pojedinom mjesecu kako bi se pronašao dan i sat u kojem je zbroj komponenata toplinskih opterećenja najveći. Maksimalni zbroj komponenata toplinskog opterećenja u istom vremenskom trenutku čini projektno toplinsko opterećenje zone. Budući da se prodajni prostor i pomoćne prostorije odjeljuju na dva različita izvora rashladnog učina, toplinska opterećenja dviju zona računaju se zasebno.

Unutarnja projektna temperatura za sve prostorije za vrijeme hlađenja iznosi 24°C. Iznimka su prostorije WC-a koje se ne hlade i nisu obuhvaćene ovim proračunom. Zrak se prisilnom ventilacijom ubacuje s temperaturom nižom od unutarnje projektne temperature, stoga nema osjetnih dobitaka uzrokovanih mehaničkom ventilacijom.

Ostali ulazni podaci:

- Vrijeme rada: 08:00 – 20:00 h
- Broj osoba (lagani rad):
 - Prodaja: 240
 - Garderoba M.: 3
 - Garderoba Ž.: 3
 - Čajna kuhinja: 5
 - Soba za odmor: 3
 - Detektiv: 1

- Trezor: 1
- Rasvjeta: 10 W/m²
- Strojevi i oprema:
 - Prodaja: 2000W
 - Skladište: 1600W
 - Detektiv: 200W
 - Trezor: 200W

U Tablica 4.3 prikazani su rezultati vršnog toplinskog opterećenja pojedinih prostorija u različitim vremenskim trenucima. Navedeni rezultati omogućuju odabir rashladnih tijela odgovarajućih kapaciteta.

U Tablica 4.4 i Tablica 4.5 uneseni su rezultati ukupnog projektnog toplinskog opterećenja za četiri kritična dana za prostor prodaje i pomoćne prostorije (zona 1 i zona 2). Na temelju dobivenih rezultata toplinskog opterećenja (maksimalan zbroj komponenata toplinskog opterećenja u istom vremenskom trenutku) poznat je zahtijevani rashladni kapacitet rashladnika vode. Projektno toplinsko opterećenje za prodajni prostor iznosi 103,34 kW, dok za pomoćne prostorije iznosi 14,69 kW.

Tablica 4.3 – Vršno toplinsko opterećenje pojedinih prostorija u različitim vremenskim trenucima

Oz.	Prostorija	A_i m ²	$\vartheta_{\text{int},i,h}$ °C	Φ_{suho} W	$\Phi_{\text{vlažno}}$ W	Φ_{ukupno} W	q_{ukupno} W/m ²	Datum i vrijeme
1	Prodaja	1673,54	24	94992	8352	103344	62	24. Kolovoz 15h
2	Skladište	142,34	24	4339	0	4339	30	23. Srpanj 16h
3	Hodnik 1	18,74	24	781	0	781	42	22. Rujan 11h
4	Garderoba M.	10,98	24	3640	96	3736	340	22. Rujan 10h
5	Garderoba Ž.	11,46	24	2295	96	2391	209	22. Rujan 10h
6	Čajna kuhinja	20,32	24	3168	160	3328	164	22. Rujan 10h
7	Soba za odmor	12,09	24	1631	96	1727	143	22. Rujan 10h
8	Detektiv	9,27	24	2337	32	2369	256	22. Rujan 10h
9	Trezor	22,26	24	6883	33	6916	311	22. Rujan 12h
10	Soba/čistačice	5,95	24	91	0	91	15	23. Srpanj 16h
11	WC ženski	8,58	-	-	-	-	-	-
12	WC muški	8,58	-	-	-	-	-	-
13	Hodnik 2	24,62	24	385	0	385	16	23. Srpanj 16h

Tablica 4.4 – Ukupno projektno toplinsko opterećenje za četiri projektna dana - zona 1

Oz.	Prostorija	A_i	Φ_{ukupno}			
		m^2	21. Lipanj	23. Srpanj	24. Kolovoz	22. Rujan
1	Prodaja	1673,54	96114	99026	103344	99923
	Sat	h	15	15	15	14
	Ukupno	W	96114	99026	103344	99923

Tablica 4.5 – Ukupno projektno toplinsko opterećenje za četiri projektna dana - zona 2

Oz.	Prostorija	A_i	Φ_{ukupno}			
		m^2	21. Lipanj	23. Srpanj	24. Kolovoz	22. Rujan
2	Skladište	142,34	4253	4260	4255	4119
3	Hodnik 1	18,74	519	525	520	517
4	Garderoba M.	10,98	869	901	866	859
5	Garderoba Ž.	11,46	708	727	706	696
6	Čajna kuhinja	20,32	1134	1161	1132	1114
7	Soba za odmor	12,09	653	666	652	644
8	Detektiv	9,27	674	693	672	664
9	Trezor	22,26	2279	2602	3291	5636
10	Soba/čistačice	5,95	89	89	89	85
11	WC ženski	8,58	-	-	-	-
12	WC muški	8,58	-	-	-	-
13	Hodnik 2	24,62	376	376	376	359
	Sat	h	15	15	15	14
	Ukupno	W	11554	12000	12559	14693

5. DIMENZIONIRANJE ZRAČNOG SUSTAVA

Zračni sustav se dimenzionira za potrebe dobave dovoljne količine svježeg vanjskog zraka za ljude koji borave u prodajnom prostoru i pomoćnim prostorijama. Osiguravanje kvalitete zraka ventilacijom, neizostavan je faktor koji utječe na ugodnost boravka u zatvorenom prostoru. Minimalni protok dobavnog vanjskog zraka određuje se prema ventilacijskim zahtjevima (podnaslov 5.1).

Zračni sustav pomoćnih prostorija odjeljuje se od zračnog sustava prodajnog prostora. Ventilacija prodajnog prostora vrši se centralnom klimatizacijskom jedinicom smještenom na ravnom krovu, dok će se pomoćni prostori ventilirati podstropnom rekuperatorskom jedinicom smještenom u spušenom stropu hodnika. Za sanitarne prostorije predviđa se zasebna odsisna ventilacija s ugrađenim kanalskim ventilatorom.

Prije dobave zraka u prostorije, vanjski zrak se obrađuje po potrebi u klimatizacijskim jedinicama. U zimi, odnosno za vrijeme grijanja, zračni sustav se ne koristi u svrhu pokrivanja toplinskih gubitaka. Temperatura suhog termometra ubacivanog zraka je niža od unutarnje projektne temperature što uzrokuje ventilacijske gubitke. U periodu hlađenja, zbog procesa pripreme i odvlaživanja vanjskog zraka, konačna temperatura suhog termometra ubacivanog zraka će biti nešto niža od unutarnje projektne temperature te će se određeni dio osjetnog toplinskog opterećenja prostorije pokriti zrakom. Zrak se ubacuje s većim sadržajem vlage (u odnosu na unutarnje projektno stanje prostorija) što uzrokuje dodatna latentna opterećenja.

Za transport zraka se koriste zračni kanali u pravokutnoj, okrugloj i fleksibilnoj izvedbi. Kanali se dimenzioniraju prema projektnom protoku za postizanje odgovarajućih brzina strujanja i padova tlaka. Dobavni kanali se spajaju na istrujne otvore (stropne difuzore), dok se odsisni kanali spajaju na odsisne otvore. Za ostvarivanje prisilne ventilacije potrebno je dimenzionirati i odabrati odgovarajući ventilator koji pomaže pri svladavanju linijskih i lokalnih otpora strujanja zraka. Većim dobavnim protocima, u odnosu na odsisne, nastoji se održati pretlak u cijeloj trgovini.

5.1 VENTILACIJSKI ZAHTJEVI

Potrebna količina dobavnog ventilacijskog zraka može se odrediti prema broju osoba koje borave u prostoriji, prema dopuštenoj koncentraciji zagađivača u zraku, prema broju izmjena zraka, prema izračunatim toplinskim opterećenjima za grijanje/hlađenje i prema zahtjevu za odvlaživanjem [6].

U ovom radu, minimalni ventilacijski zahtjevi se za prostorije u kojima borave ljudi računaju prema broju osoba koje borave u prostorijama, dok se u prostorijama u kojima ne borave ljudi proračun vrši prema preporučenom broju izmjena zraka po satu.

Proračun ventilacijskih zahtjeva prema broju osoba vrši se korištenjem jednadžbe:

$$\dot{V}_o = N \cdot \dot{V}_{o,p} \quad (5.1)$$

\dot{V}_o	m ³ /h	Volumni protok vanjskog zraka
N	-	Broj osoba
$\dot{V}_{o,p}$	m ³ /h	Volumni protok vanjskog zraka po osobi

Pretpostavljeni broj osoba po kvadratnom metru i minimalni volumni protok vanjskog zraka po osobi prikazan je u Tablica 5.1. U proračun se ulazi s većim vrijednostima od minimalno zadanih. Ulazna vrijednost volumnog protoka vanjskog zraka po osobi iznosi 40 m³/h .

Tablica 5.1 – Minimalni ventilacijski zahtjevi prema broju osoba [7]

Vrsta prostora	Okupiranost prostora	Min. volumni protok vanjskog zraka
	osoba/m ²	L/(s·osoba)
Prodajni prostor	0,15	7,8
Ured	0,05	8,5
Soba za odmor	0,25	3,5
Čajna kuhinja	0,20	7,0

Proračun ventilacijskih zahtjeva prema broju izmjena zraka po satu vrši se korištenjem jednadžbe:

$$\dot{V}_o = ACH \cdot V \quad (5.2)$$

ACH	h^{-1}	Broj izmjena zraka po satu
V	m^3	Volumen prostorije

U Tablica 5.2 prikazane su dobivene vrijednosti proračuna volumnog protoka vanjskog zraka za potrebe ventilacije. Usvojene vrijednosti dobave i odsisa za pojedine prostorije prikazane su Tablica 5.3.

Tablica 5.2 – Proračun volumnog protoka vanjskog zraka za potrebe ventilacije

Oznaka	Prostorija	Neto		Prema broju osoba				Prema ACH	
		Površina m ²	Volumen m ³	N	$\dot{V}_{o,p}$ m ³ /h	\dot{V}_o m ³ /h	*ACH h ⁻¹	ACH h ⁻¹	\dot{V}_o m ³ /h
1	Prodaja	1603,55	5371,9	240	40	9600	1,8	-	-
2	Skladište	135,07	607,8	-	-	-	-	0,7	425,5
3	Hodnik 1	15,04	41,4	-	-	-	-	1	41,4
4	Garderoba M.	8,15	22,4	3	40	120	5,4	-	-
5	Garderoba Ž.	9,95	27,4	3	40	120	4,4	-	-
6	Čajna kuhinja	17,85	49,1	5	40	200	4,1	-	-
7	Soba za odmor	10,38	28,5	3	40	120	4,2	-	-
8	Detektiv	7,64	21,0	1	40	40	1,9	-	-
9	Trezor	18,44	50,7	1	40	40	0,8	-	-
10	Soba/čistačice	5,06	13,9	-	-	-	-	3	41,7
11	WC ženski	7,1	17,8	-	-	-	-	7	124,3
12	WC muški	7,1	17,8	-	-	-	-	7	124,3
13	Hodnik 2	22,65	62,3	-	-	-	-	1	62,3

Tablica 5.3 – Odabrani volumni protoci vanjskog zraka za potrebe ventilacije

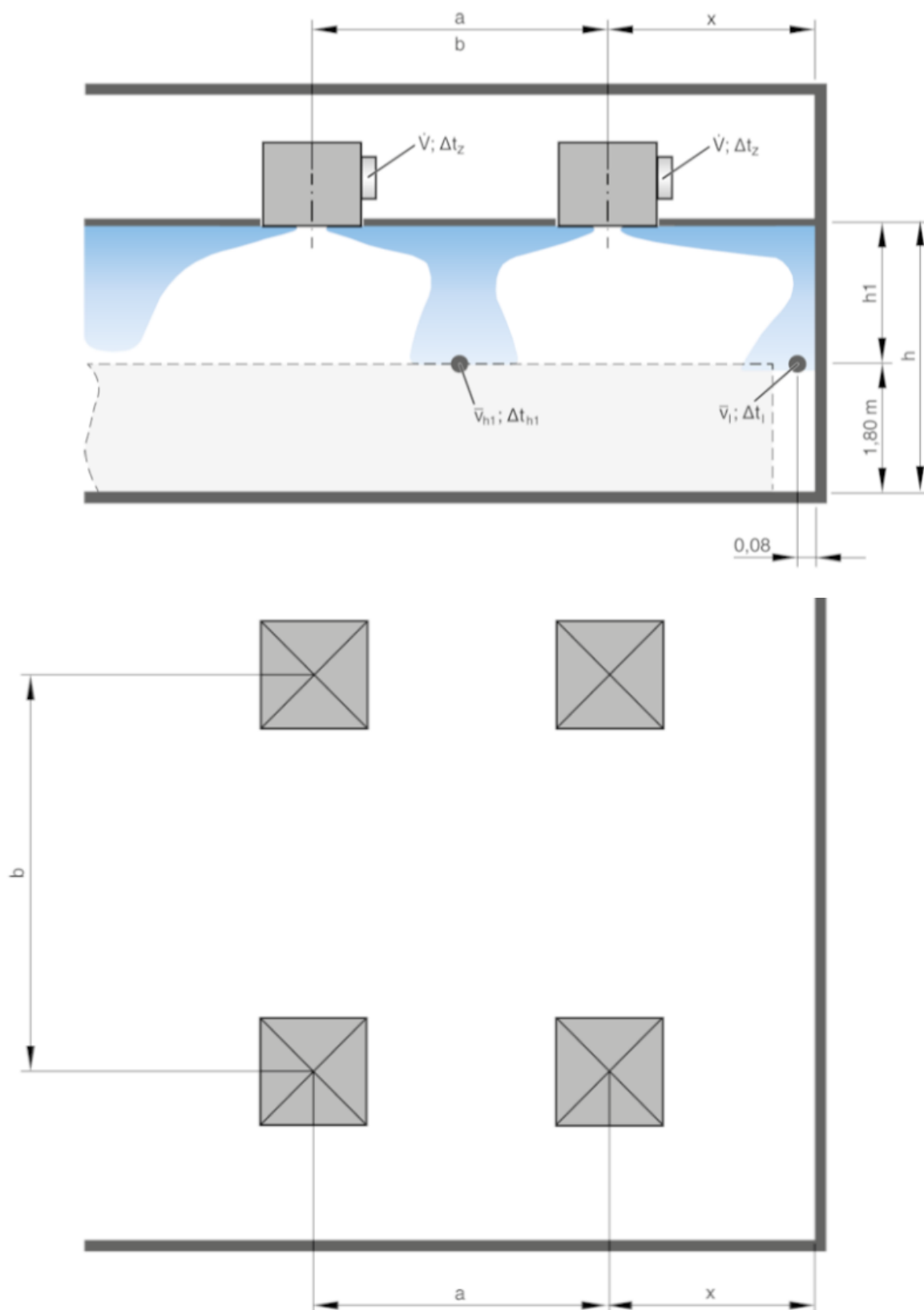
Oznaka	Prostorija	Dobava	Odsis	Otpadni zrak	ACH
		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	h ⁻¹
1	Prodaja	9600	8600	-	1,8
	Ukupno	9600	8600	-	-
2	Skladište	400	400	-	0,7
3	Hodnik 1	40	-	-	1,0
4	Garderoba M.	120	120	-	5,4
5	Garderoba Ž.	120	120	-	4,4
6	Čajna kuhinja	-	200	-	4,1
7	Soba za odmor	120	-	-	4,2
8	Detektiv	40	30	-	1,9
9	Trezor	50	40	-	1,0
10	Soba/čistačice	-	40	-	2,9
13	Hodnik 2	60	-	-	1,0
	Ukupno	950	950	-	-
11	WC ženski	-	-	125	7,0
12	WC muški	-	-	125	7,0
	Ukupno	-	-	250	-

5.2 DIMENZIONIRANJE KANALSKOG RAZVODA

Za distribuciju zraka od klimatizacijske jedinice prema unutrašnjim prostorijama (i obratno) koriste se kanalski razvodi. Sustav razvoda je niskobrzinski što podrazumijeva brzine strujanja manje od 10 m/s. Korišteni oblici kanala su pravokutni, okrugli i fleksibilni. Pravokutni se koriste zbog ograničenosti prostora za smještaj okruglih kanala. Kanali kružnog poprečnog presjeka koriste se na mjestima gdje ne postoje prostorna ograničenja. Fleksibilni kanali povezuju ogranke s priključnim kutijama difuzora. Zbog velikih gubitaka trenja, fleksibilni kanali trebaju biti što kraći. Broj koljena se svodi na minimum te se koriste odgovarajući prijelazni komadi kod grananja kanala. Kanali klimatizacijske jedinice prodajnog prostora ulaze s ravnog krova kroz strop, prema podstropnom dijelu prodajnog prostora. Svi zračni kanali vode se u prostoru iznad spušenog stropa. Tlačni kanali vođeni iznad spušenog stropa izoliraju se mineralnom vunom s aluminijskom folijom koja služi kao parna brana. Prilikom izolacije naročitu pažnju treba posvetiti dobrom brtvljenju i lijepljenju spojeva. Svi ventilacijski kanali u vanjskom prostoru oblažu se izolacijom Armaflex i zaštićuju se oblogom od aluminijskog lima odgovarajuće debljine i čvrstoće.

5.2.1 Dobavni i odsisni otvori

Pregledom tlocrta zgrade trgovine, raspoređeni su dobavni i odsisni otvori tako da se osigura odgovarajuća distribucija zraka unutar prostorija. Odabir dimenzija dobavnih i odsisnih otvora izvršen je prema podacima proizvođača. Kod odabira potrebno je specificirati volumni protok, visinu prostora, udaljenost od zidova i susjednih istrujnih otvora (Slika 5.1). Na temelju navedenih podataka dolazi se do vrijednosti pada tlaka kao i vrijednosti brzine strujanja zraka na ulasku u zonu boravka (1,80 m iznad poda, Slika 5.1). Slika 5.2 do Slika 5.6 prikazuju odabrane dobavne/odsisne otvore. Tablica 5.4 i Tablica 5.5 daju prikaz padova tlaka u ovisnosti o tipu i volumnom protoku dobavnog/odsisnog otvora.



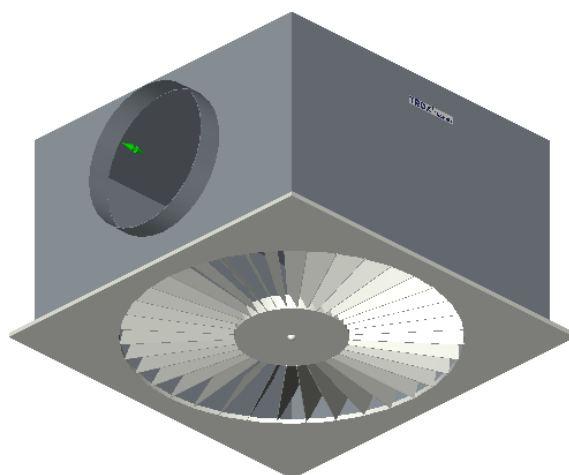
Slika 5.1 – Prikaz ulaznih parametara prilikom dimenzioniranja dobavnih otvora

Tablica 5.4 – Popis odabranih dobavnih otvora s pripadajućim padom tlaka

Oznaka	Prostorija	Tip	Broj komada	Protok	Pad tlaka
				m ³ /h	Pa
1	Prodaja	FD-Q-Z-H/625/0/0/0/RAL9010	16	600	30
2	Skladište	RA-0-ZR/250/0/6/0/RAL9010	2	200	15
3	Hodnik 1	DQJA-Z-155-SB-9010	1	40	18
4	Garderoba M.	DQJA-Z-300-SB-9010	1	120	20
5	Garderoba Ž.	DQJA-Z-300-SB-9010	1	120	20
7	Soba za odmor	DQJA-Z-300-SB-9010	1	120	17
8	Detektiv	DQJA-Z-155-SB-9010	1	40	18
9	Trezor	DQJA-Z-155-SB-9010	1	50	28
13	Hodnik 2	DQJA-Z-155-SB-9010	2	30	10

Tablica 5.5 – Popis odabranih odsisnih otvora s pripadajućim padom tlaka

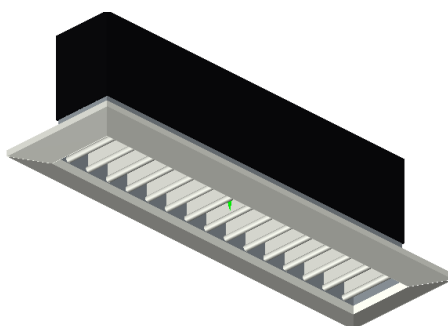
Oznaka	Prostorija	Tip	Broj komada	Protok	Pad tlaka
				m ³ /h	Pa
1	Prodaja	FD-Q-A-H-M/625/0/0/0/RAL9010	10	860	42
2	Skladište	TRS-R/325x75/0/0/0/RAL9010	2	200	14
4	Garderoba M.	DQJA-A-300-SB-9010	1	120	20
5	Garderoba Ž.	DQJA-A-300-SB-9010	1	120	20
6	Čajna kuhinja	DQJA-A-240-SB-9010	2	100	26
8	Detektiv	DQJA-A-155-SB-9010	1	30	10
9	Trezor	DQJA-A-155-SB-9010	1	40	18
10	Soba/čistačice	DQJA-A-155-SB-9010	1	40	18
11	WC ženski	ZOV 100	3	42	15
12	WC muški	ZOV 100	3	42	15



Slika 5.2 – Dobavni i odsisni otvor za prostor prodaje FD-Q



Slika 5.3 – Dobavni otvor za prostor skladišta RA-0-ZR/250



Slika 5.4 – Odsisna rešetka za prostor skladišta TRS-R/325x75



Slika 5.5 – Dobavni i odsisni otvor za pomoćne prostorije DQJA



Slika 5.6 – Odsisni otvor za sanitarne prostorije ZOV

5.2.2 Regulatori protoka

Regulacija protoka u ograncima dobavnih kanala prostora prodaje vrši se uz pomoć regulatora varijabilnog protoka. Na svaki ogranak, prije priključne kutije difuzora, postavlja se po jedan regulator koji u ovisnosti o izmjerenoj vrijednosti CO₂ u prostoru regulira otvorenost zaklopke pomoću elektromotornog pogona. U prodajnom prostoru postavljaju se četiri osjetnika CO₂ na različitim mjestima. Ukupno se ugrađuje 16 regulatora varijabilnog protoka za okrugle kanale dimenzije $\phi 250\text{mm}$ (Tablica 5.6). Prilikom ugradnje u kanal, potrebno se pridržavati minimalne udaljenosti ugradnje od prijelaznih elemenata. Odabrani regulator varijabilnog protoka prikazan je na Slika 5.7. Balans odsisnih grana trgovine vrši se uz pomoć ručnih zaklopki koje dolaze u sklopu priključne kutije odsisnog otvora. Odsisni ventilator prati rad dobavnog ventilatora te se pri smanjenju protoka dobavnog zraka smanjuje i odsisni.

Tablica 5.6 – Kataloške vrijednosti regulatora varijabilnog protoka RVP-C

Tip	Broj komada	V _{min}	V _{max}
		m ³ /h	m ³ /h
RVP-C-250	16	217	2215



Slika 5.7 – Odabrani varijabilni regulator protoka RVP-C

U dobavne i odsisne kanale pomoćnih prostorija i odsisne kanale sanitarija, ugrađuju se regulatori konstantnog protoka zraka. Regulator RKP-C od proizvođača Klimaoprema ugrađuje se u kanale sanitarija i skladišta, dok se za ostale prostorije ugrađuje regulator konstantnog protoka KVR-R koji omogućuje regulaciju malih protoka. Ukupno se ugrađuje 18 regulatora za okrugle kanale dimenzije $\phi 200$, $\phi 125$ i $\phi 100$ mm. Slika 5.8 i Slika 5.9 prikazuju odabrane regulatore konstantnog protoka u izvedbi za kanale kružnog poprečnog presjeka.



Slika 5.8 – Regulator konstantnog protoka RKP-C



Slika 5.9 – Regulator konstantnog protoka KVR-R

Na usisu vanjskog zraka i ispuhu zraka iz pomoćnih prostorija, postavljena je protukišna rešetka koja se spaja na cijev $\phi 250$ mm. Odabran je model IGC-250 proizvođača Systemair. Iza protukišnih rešetki, postavlja se po jedna zaklopka ZTZ-C-250 proizvođača Klimaoprema. Na ispuhu zraka iz sanitarija ugrađuje se nepovratna zaklopka ZPC-160 i deflektor kapa.

5.2.3 Padovi tlaka kritičnih dionica kanalskog razvoda

Tablica 5.7 – Kritična dionica dobavnog i odsisnog kanalskog razvoda prodaje

Dionica	l m	V _h m ³ /h	V _s m ³ /s	D mm	a mm	b mm	d _{ekv} mm	A' m ²	v' m/s	R Pa/m	RL Pa	Σζ -	p _{din} Pa	Z Pa	RL+Z Pa	Ukupno Pa
1	10,1	9600	2,6667	-	1100	400	703	0,4400	6,1	0,65	6,6	1,0	22,2	21,8	28	28
2	14,6	4200	1,1667	-	700	300	490	0,2100	5,6	0,80	11,7	0,1	18,7	1,9	14	14
3	8,75	2400	0,6667	-	400	300	378	0,1200	5,6	1,00	8,8	0,3	18,7	5,6	14	14
4	9,4	1800	0,5000	350	-	-	-	0,0962	5,2	0,90	8,5	0,1	16,3	1,6	10	10
5	9,4	1200	0,3333	300	-	-	-	0,0707	4,7	0,90	8,5	0,1	13,5	1,3	10	10
6	2,5	600	0,1667	250	-	-	-	0,0491	3,4	0,60	1,5	0,6	7,0	4,2	6	37
Dobava														Σ		113
1	17,9	8600	2,3889	-	1100	350	652	0,3850	6,2	0,80	14,3	1,0	23,3	22,8	37	37
2	5,5	5160	1,4333	-	700	350	533	0,2450	5,9	0,80	4,4	0,4	20,7	8,3	13	13
3	7,5	3440	0,9556	-	500	350	455	0,1750	5,5	0,85	6,4	0,1	18,0	1,8	8	8
4	7,5	1720	0,4778	315	-	-	-	0,0779	6,1	1,30	9,8	0,1	22,7	2,3	12	12
5	1,6	860	0,2389	250	-	-	-	0,0491	4,9	1,20	1,9	0,6	14,3	8,6	10	54
Odsis														Σ		124

Tablica 5.8 – Kritična dionica dobavnog i odsisnog kanalskog razvoda pomoćnih prostorija

Dionica	l m	V _h m ³ /h	V _s m ³ /s	D mm	A' m ²	v' m/s	R Pa/m	RL Pa	Σζ -	p _{din} Pa	Z Pa	RL+Z Pa	Ukupno Pa
1	2,7	950	0,2639	250	0,0491	5,4	1,80	4,9	0,4	17,5	6,3	11	41
2	1,8	550	0,1528	200	0,0314	4,9	1,50	2,7	0,1	14,3	1,4	4	4
3	4,9	510	0,1417	200	0,0314	4,5	1,40	6,9	0,3	12,3	3,7	11	11
4	2,5	390	0,1083	200	0,0314	3,4	0,80	2,0	0,1	7,2	0,7	3	3
5	1,5	270	0,0750	160	0,0201	3,7	1,30	2,0	0,1	8,4	0,8	3	3
6	5	240	0,0667	160	0,0201	3,3	1,00	5,0	0,1	6,7	0,7	6	6
7	0,6	120	0,0333	125	0,0123	2,7	1,00	0,6	0,1	4,5	0,4	1	1
8	2	90	0,0250	100	0,0079	3,2	1,80	3,6	0,1	6,1	0,6	4	4
9	4,2	50	0,0139	100	0,0079	1,8	0,70	2,9	0,2	1,9	0,4	3	23
Dobava											Σ		95
1	6,4	950	0,2639	250	0,0491	5,4	1,80	11,5	0,2	17,5	3,5	15	45
2	2,1	550	0,1528	200	0,0314	4,9	1,50	3,2	0,3	14,3	4,3	7	7
3	2,6	430	0,1194	200	0,0314	3,8	0,90	2,3	0,1	8,7	0,9	3	3
4	3,4	310	0,0861	160	0,0201	4,3	1,60	5,4	0,1	11,1	1,1	7	7
5	5,4	110	0,0306	125	0,0123	2,5	0,80	4,3	0,1	3,8	0,4	5	5
6	0,5	80	0,0222	100	0,0079	2,8	1,20	0,6	0,1	4,8	0,5	1	1
7	2,1	40	0,0111	100	0,0079	1,4	0,40	0,8	0,1	1,2	0,1	1	20
Odsis											Σ		88

Tablica 5.9 – Kritična dionica odsisnog kanalskog razvoda sanitarnih prostorija

Dionica	l m	V _h m ³ /h	V _s m ³ /s	D mm	A' m ²	v' m/s	R Pa/m	RL Pa	Σζ -	p _{din} Pa	Z		RL+Z		Ukupno	
											Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
1	4,9072	250	0,0694	160	0,0201	3,5	1,00	4,9	0,25	7,2	1,8	1,8	7	7	24	24
2	4,1407	125	0,0347	125	0,0123	2,8	1,00	4,1	0,2	4,8	1,0	1,0	5	5	5	5
3	0,5892	83	0,0231	125	0,0123	1,9	0,45	0,3	0,1	2,2	0,2	0,2	0	0	0	0
4	1,4825	42	0,0116	100	0,0079	1,5	0,60	0,9	0,3	1,3	0,4	0,4	1	1	17	17
Σ															46	46

5.2.4 Odsisni kanalski ventilator

U Tablica 5.9 izračunat je ukupan pad tlaka u kritičnoj dionici odsisa sanitarija. Prema navedenim vrijednostima, vrši se dimenzioniranje i odabir kanalskog ventilatora. Odabran je ventilator KVO 160 proizvođača Systemair. Na Sliku 5.10 prikazana je radna točka ventilatora. Postavna brzina okretaja ventilatora se namješta promjenom napona. Ventilator se na kanale spaja fleksibilnim spojem kako bi se smanjilo prenošenje vibracija i buke. Uključuje se u rad sa signalom senzora prisutnosti te se isključuje iz rada nakon 5 minuta po izlasku osobe iz prostora sanitarija.



$$V = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p = 46 \text{ Pa}$$

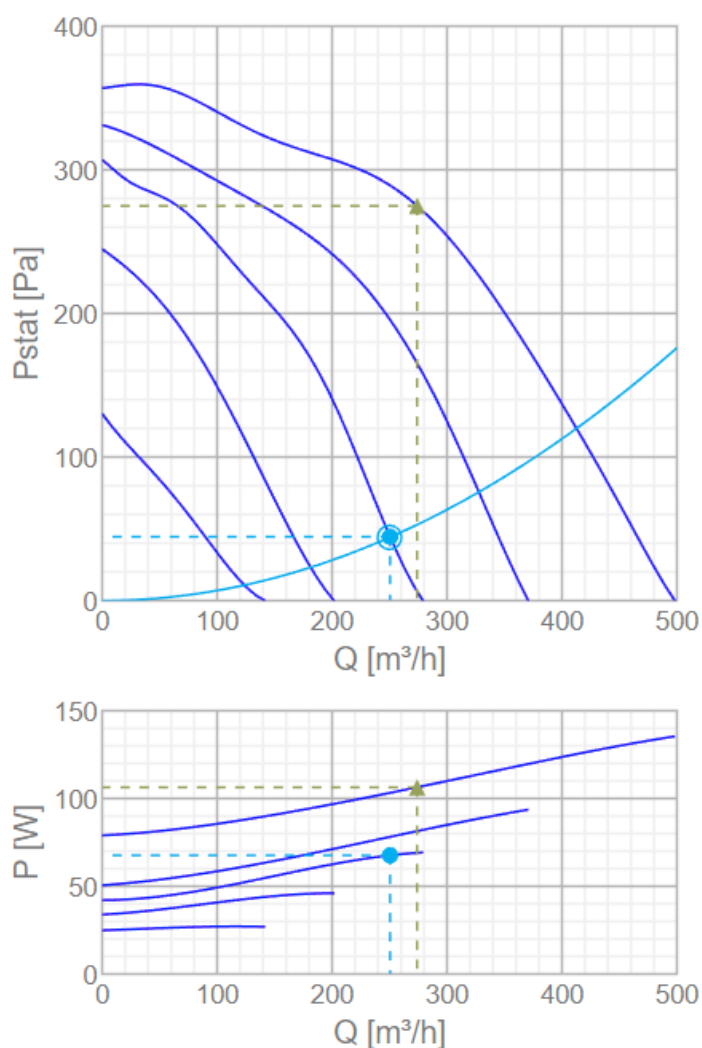
$$P = 67,6 \text{ W}$$

$$n = 1633 \text{ o/min}$$

$$I = 0,524 \text{ A}$$

$$U = 130 \text{ V}$$

$$\text{SFP} = 0,972 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

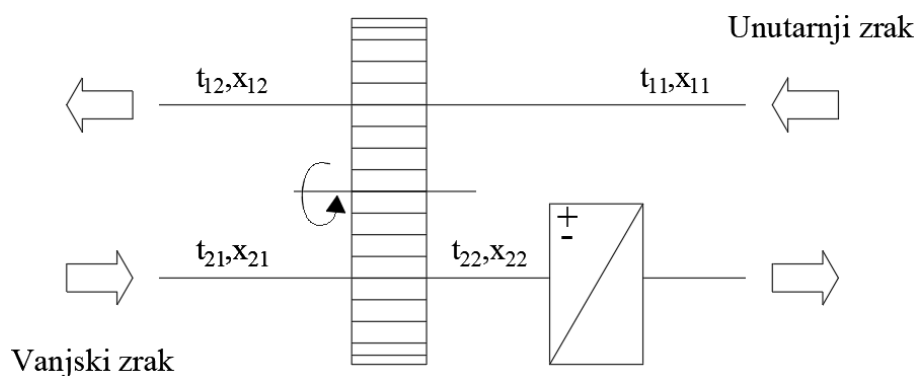


Slika 5.10 – Odsisni kanalski ventilator KVO 160 s prikazom radne točke

5.3 DIMENZIONIRANJE I ODABIR KLIMATIZACIJSKIH JEDINICA

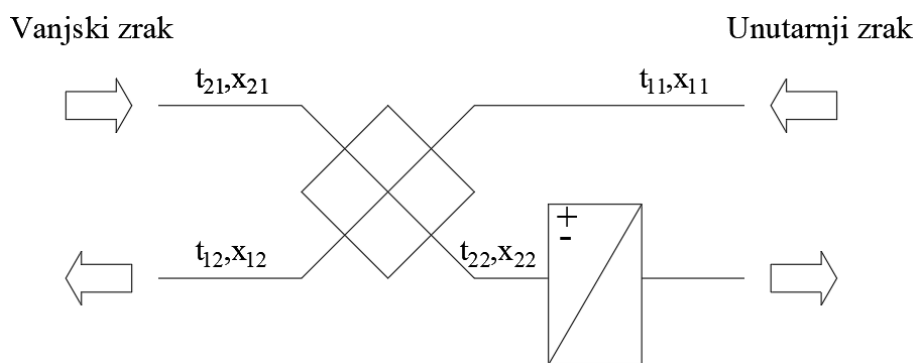
Ventilacijske zahtjeve trgovine pokrivaju dvije klimatizacijske jedinice koje rade sa 100% vanjskim zrakom. Razdoblja kada se vanjski zrak može direktno ubacivati u prostoriju bez prethodne obrade su rijetka. Zbog toga, potrebno je provesti proračun pripreme vanjskog zraka za zimsko i ljetno razdoblje. Proračun se vrši zasebno za prodajni prostor i pomoćne prostorije.

Klimatizacijska jedinica prodajnog prostora od komponenti koje sudjeluju u pripremi zraka sadrži sorpcijski rotacijski regenerator i jedan izmjenjivač topline koji djeluje kao grijač po zimi ili kao hladnjak po ljeti (Slika 5.11). Nije moguće istovremeno hladiti i grijati zrak, zrak se ili grije ili hladi, ovisno o trenutnom režimu rada sustava i potrebama prodajnog prostora.



Slika 5.11 – Osnovne komponente klimatizacijske jedinice prodajnog prostora

Za pomoćne prostorije odabrana je podstropna rekuperatorska jedinica koja se sastoji od pločastog rekuperatora topline i jednog izmjenjivača topline koji djeluje kao grijač ili hladnjak ovisno o režimu rada (Slika 5.12).



Slika 5.12 – Osnovne komponente rekuperatorske jedinice pomoćnih prostorija

Za izračun stanja zraka na izlazu iz regeneratora/rekuperatora, koriste se sljedeće dvije jednačbe:

Stupanj povrata osjetne topline (5.3):

$$\Phi_2 = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

Stupanj povrata vlage (5.4):

$$\Psi_2 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}}$$

Φ_2	-	Stupanj povrata osjetne topline
t_{22}	°C	Temperatura vanjskog zraka na izlazu iz regeneratora
t_{21}	°C	Temperatura vanjskog zraka na ulasku u regenerator
t_{11}	°C	Temperatura unutarnjeg zraka na ulasku u regenerator
Ψ_2	-	Stupanj povrata vlage
x_{22}	kg _w /kg _{sz}	Sadržaj vlage vanjskog zraka na izlazu iz regeneratora
x_{21}	kg _w /kg _{sz}	Sadržaj vlage vanjskog zraka na ulasku u regenerator
x_{11}	kg _w /kg _{sz}	Sadržaj vlage unutarnjeg zraka na ulasku u regenerator

Kako bi se vanjski zrak kondicionirao i doveo do željenog stanja ubacivanja, potrebno je odrediti zahtijevane toplinske/rashladne učine grijača/hladnjaka. Proračun kapaciteta grijača vrši se prema jednačbi:

$$\Phi_{gr} = \dot{V}_{VZ} \cdot \rho_z \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta_z \quad (5.5)$$

Proračun potrebnog rashladnog učina za kondicioniranje zraka računa se prema jednačbi:

$$\Phi_{hl} = \dot{V}_{VZ} \cdot \rho_z \cdot \Delta h_z \quad (5.6)$$

Φ_{gr}	W	Potreban ogrjevni učin grijača
Φ_{hl}	W	Potreban rashladni učin hladnjaka
\dot{V}_{VZ}	m ³ /s	Volumni protok vanjskog zraka
ρ_z	kg/m ³	Gustoća zraka
c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet
$\Delta\vartheta_z$	°C	Temperaturna razlika zraka prije i poslije grijača
Δh_z	J/kg	Razlika specifičnih entalpija zraka

5.3.1 Priprema zraka za prodajni prostor

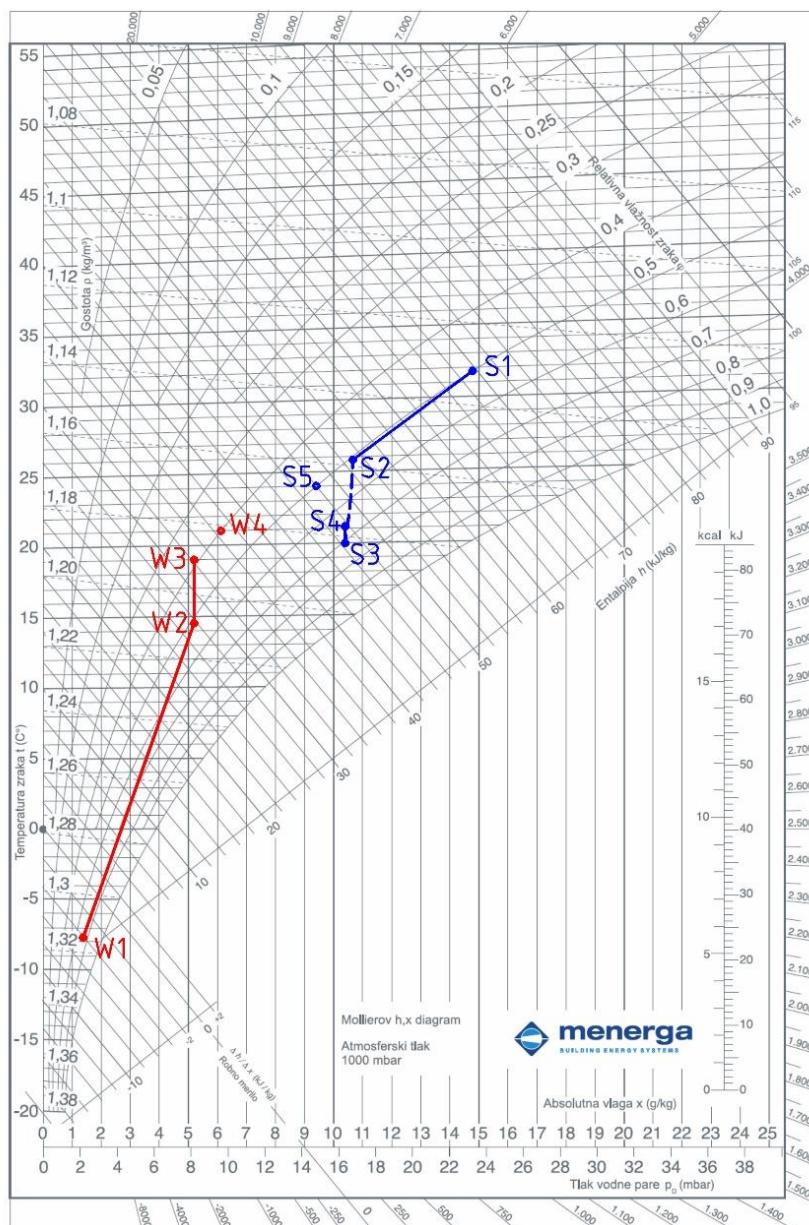
Zimski režim rada

Svježi vanjski zrak volumnog protoka $9600 \text{ m}^3/\text{h}$ i temperature $-7,7^\circ\text{C}$ ulazi u sorpcijski rotacijski regenerator. U regeneratoru dolazi do izmjene osjetne i latentne topline s povratnom strujom zraka stanja 21°C i $\phi=40\%$. Budući da se radi o niskim temperaturama, opasnost od smrzavanja postoji, ali je ona smanjena načinom prijenosa vlage u sorpcijskom materijalu silika-gel [8]. Učin regeneratora regulira se promjenom brzine vrtnje. Stupanj povrata osjetne topline iznosi $77,2\%$, dok stupanj povrata vlage (latentne topline) iznosi $80,4\%$. Zrak iz regeneratora izlazi s temperaturom suhog termometra $14,5^\circ\text{C}$ i $\phi=51\%$. Ukupni ogrjevni učin rotacijskog regeneratora je 104 kW . Po izlasku iz regeneratora, zrak se dodatno dogrijava grijačem na 19°C , za što je potreban ogrjevni učin od $14,5 \text{ kW}$. Stanje ubacivanog zraka iznosi 19°C i $\phi=38,4\%$.

Ljetni režim rada

Unutarnje projektno stanje zraka je za ljetni režim rada 24°C i $\phi=50\%$, a vanjsko projektno stanje zraka $31,8^\circ\text{C}$ i $\phi=50\%$. Proces pripreme zraka je sličan kao u zimskom režimu samo s toplinskim tokovima suprotnog smjera. Vanjski zrak prolazi kroz rotacijski regenerator gdje predaje svoju osjetnu i latentnu toplinu povratnoj struji iz unutarnjeg prostora. Dobavni zrak se hladi i odvlažuje do stanja $25,8^\circ\text{C}$ i $\phi=51\%$. Kako bi se dodatno odvlažio i kako bi se smanjilo toplinsko opterećenje na vodeni sustav, zrak se hladi i odvlažuje na hladnjaku. Po izlasku iz hladnjaka, stanje zraka iznosi 20°C i $\phi=71\%$ za što je potreban rashladni učin od $20,7 \text{ kW}$. Prije izlaska iz klima jedinice, zrak se zagrijava prolaskom preko ventilatora ($P=3,5 \text{ kW}$) pri čemu mu temperatura raste za 1°C . Stanje ubacivanog zraka iznosi 21°C i $\phi=66\%$. Ubacivani zrak unosi latentno opterećenje na vodeni sustav, no snižava mu osjetno toplinsko opterećenje. Specifična entalpija ubacivanog zraka je nešto niže vrijednosti od stanja unutarnjeg zraka, stoga se ukupno toplinsko opterećenje prostorije neće povećati. Hlađenje zraka na unutarnju projektnu vrijednost vrši se ventilokonvektorima.

Proces pripreme dobavnog zraka za zimski i ljetni režim rada prodajnog prostora prikazan je u h,x-dijagramu na Slika 5.13.



Slika 5.13 – Proces pripreme zraka prodajnog prostora za ljetni i zimski režim rada

- | | |
|----|--|
| W1 | Projektno vanjsko stanje zraka za zimsko razdoblje |
| W2 | Stanje zraka po izlasku iz regeneratora, zima |
| W3 | Stanje zraka po izlasku iz grijača, zima |
| W4 | Projektno unutarnje stanje zraka za zimsko razdoblje |
| S1 | Projektno vanjsko stanje zraka za ljetno razdoblje |
| S2 | Stanje zraka po izlasku iz regeneratora, ljeto |
| S3 | Stanje zraka po izlasku iz hladnjaka, ljeto |
| S4 | Stanje zraka iza ventilatora, ljeto |
| S5 | Projektno unutarnje stanje zraka za ljetno razdoblje |

5.3.2 Priprema zraka za pomoćne prostorije

Zimski režim rada

Kod podstropne rekuperatorske jedinice, usisavanje vanjskog zraka projektne temperature $-7,7^{\circ}\text{C}$ i dovodenje iste u rekuperator kao posljedicu ima kondenzaciju vlage iz povratne struje zraka i u konačnici stvaranje leda. Kako bi se izbjeglo zaleđivanje pločastog rekuperatora, koristi se *bypass*. Uloga *bypassa* je smanjiti protok hladne vanjske struje zraka kroz rekuperator, čime se smanjuje stupanj povrata topline rekuperatora ($\Phi_2=60,23\%$), a temperatura ohlađenog unutarnjeg zraka iza rekuperatora ne pada ispod 3°C (Ulazna temperatura unutarnjeg zraka $19,2^{\circ}\text{C}$, dobivena miješanjem zraka različitih unutarnjih temperatura i različitih protoka). Navedenim postupkom povećava se potrebni ogrjevni učin grijača, budući da na njega dolazi zrak niže temperature.

Drugi mogući postupak rješavanja problema zaleđivanja pločastog rekuperatora je da se struja ulaznog vanjskog zraka predgrije te da se cijeli protok provede kroz pločasti rekuperator. Nedostatak ovog načina je potreba za dodatnim predgrijačem, dodatni padovi tlaka te u konačnici veći potrebni ogrjevni učin nego prethodno navedeno rješenje. Ukoliko se struja vanjskog zraka prije ulaska u rekuperator predgrijava na 0°C , prolazi kroz rekuperator s maksimalnim protokom i na kraju dogrijava do temperature od 19°C , ukupni potrebni ogrjevni učin dvaju grijača iznosi 3889 W. Rješenje s *bypassom* traži ogrjevni učin grijača iznosa 3342 W. Razlika potrebnih ogrjevnih učin iznosi 547 W što u konačnici znači da je iznos korištenjem *bypassa* smanjen za $\approx 14\%$.

Ljetni režim rada

U ljetnom režimu rada vanjski zrak stanja $31,8^{\circ}\text{C}$ i $\varphi=50\%$ ulazi u rekuperator i predaje svoju osjetnu toplinu struji zraka unutarnjeg prostora stanja 24°C i $\varphi=50\%$. Izlazna struja vanjskog zraka stanja $25,9^{\circ}\text{C}$ i $\varphi=70,5\%$ dodatno se odvlažuje i hladi prolaskom kroz hladnjak na temperaturu suhog termometra 20°C i $\varphi=93\%$. Konačno stanje ubacivanog zraka, nakon što se zagrije na ventilatoru, iznosi $21,3^{\circ}\text{C}$ i $\varphi=86,9\%$.

Stanje ubacivanog zraka ima nižu temperaturu suhog termometra od unutrašnjih prostorija, stoga se ventilacijskim sustavom pokriva dio osjetnog opterećenja. Međutim, razlika sadržaja vlage ubacivanog i unutarnjeg zraka je značajna te se ventilacijskim sustavom unosi dodatno latentno opterećenje na vodeni sustav. Zbog veće specifične entalpije ubacivanog zraka, ukupno toplinsko opterećenje prostorija raste (Tablica 5.10).

Tablica 5.10 – Korigirana potreba za hlađenjem prostorija (vršna opterećenja)

Oz.	Prostorija	$\Phi_{\text{ventilacija}}$		Konačni zahtjev na vodenom sustavu		
		Φ_{suho}	$\Phi_{\text{vlažno}}$	Φ_{suho}	$\Phi_{\text{vlažno}}$	Φ_{ukupno}
		W	W	W	W	W
2	Skladište	-459	+1825	3880	1825	5705
3	Hodnik 1	-37	+146	744	146	890
4	Garderoba M.	-110	+438	3530	534	4064
5	Garderoba Ž.	-110	+438	2185	534	2719
6	Čajna kuhinja	0	0	3168	160	3328
7	Soba za odmor	-110	+438	1521	534	2055
8	Detektiv	-37	+146	2300	178	2478
9	Trezor	-46	+183	6837	216	7053
10	Soba/čistačice	0	0	91	0	91
11	WC ženski	0	0	0	0	0
12	WC muški	0	0	0	0	0
13	Hodnik 2	-55	+219	330	219	549

$\Phi_{\text{ventilacija}}$ W Pokriveno ili uneseno toplinsko opterećenje ventilacijom

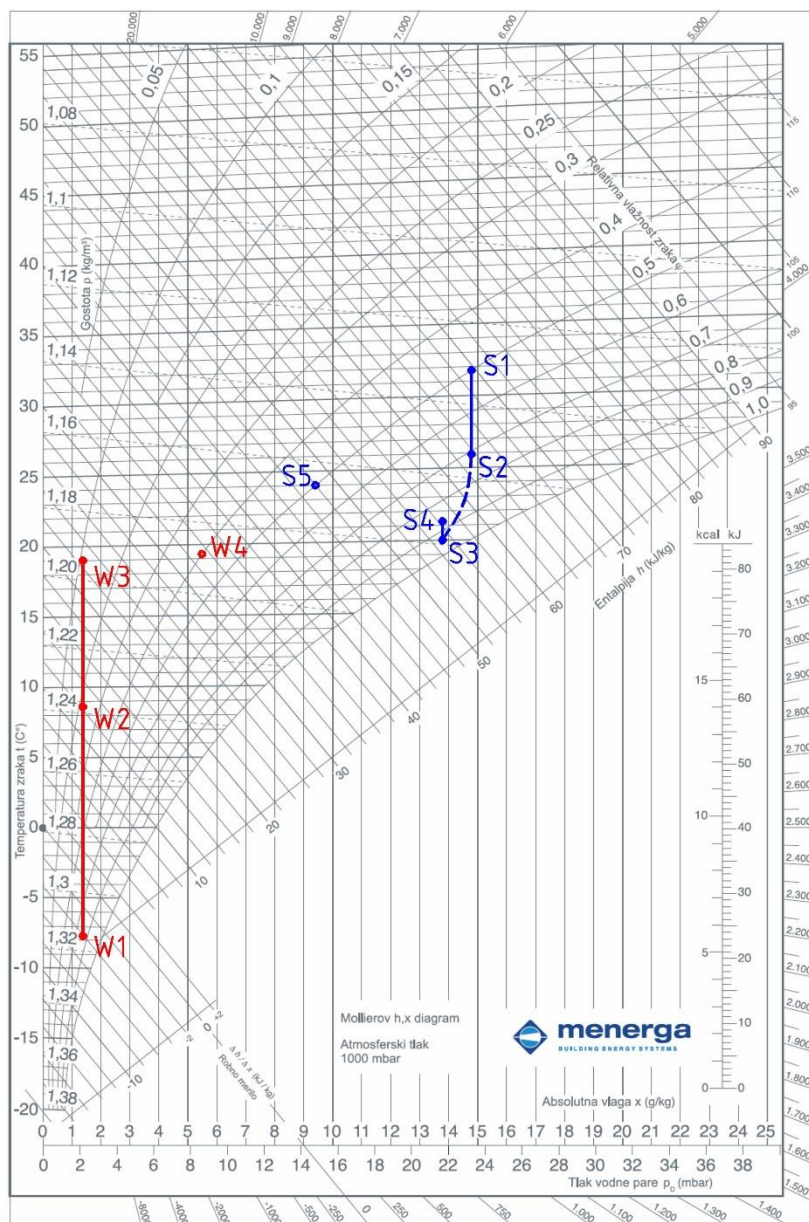
Toplinska opterećenja prostorija prema Tablica 5.10 relevantna su za odabir ventilokonvektora.

Tablica 5.11 – Korigirana potreba za ukupnim hlađenjem pomoćnih prostorija (ukupno toplinsko opterećenje)

Oz.	Prostorija	$\Phi_{\text{ventilacija}}$		Konačni zahtjev na vodenom sustavu		
		Φ_{suho}	$\Phi_{\text{vlažno}}$	Φ_{suho}	$\Phi_{\text{vlažno}}$	Φ_{ukupno}
		W	W	W	W	W
2	Skladište	-459	+1825	3660	1825	5485
3	Hodnik 1	-37	+146	480	146	626
4	Garderoba M.	-110	+438	653	534	1187
5	Garderoba Ž.	-110	+438	490	534	1024
6	Čajna kuhinja	0	0	954	160	1114
7	Soba za odmor	-110	+438	438	534	972
8	Detektiv	-37	+146	595	178	773
9	Trezor	-46	+183	5557	216	5773
10	Soba/čistačice	0	0	85	0	85
11	WC ženski	0	0	0	0	0
12	WC muški	0	0	0	0	0
13	Hodnik 2	-55	+219	304	219	523

Korigirano ukupno toplinsko opterećenje pomoćnih prostorija prema Tablica 5.11 iznosi 17,56 kW te je relevantno u procesu odabira izvora rashladnog učina.

Proces pripreme zraka za ljetni i zimski režim rada pomoćnih prostorija prikazan je u h,x-dijagramu na Slika 5.14.

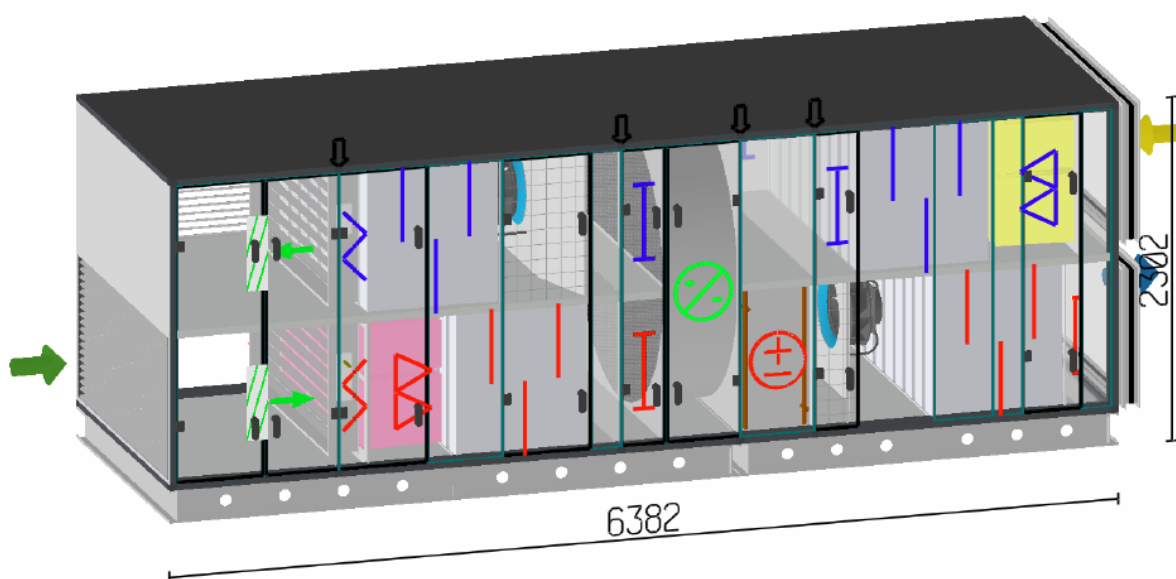


Slika 5.14 – Proces pripreme zraka pomoćnih prostorija za ljetni i zimski režim rada

- | | |
|----|--|
| W1 | Projektno vanjsko stanje zraka za zimsko razdoblje |
| W2 | Stanje zraka po izlasku iz rekuperatora, zima |
| W3 | Stanje zraka po izlasku iz grijača, zima |
| W4 | Projektno unutarnje stanje zraka za zimsko razdoblje |
| S1 | Projektno vanjsko stanje zraka za ljetno razdoblje |
| S2 | Stanje zraka po izlasku iz rekuperatora, ljeto |
| S3 | Stanje zraka po izlasku iz hladnjaka, ljeto |
| S4 | Stanje zraka iza ventilatora, ljeto |
| S5 | Projektno unutarnje stanje zraka za ljetno razdoblje |

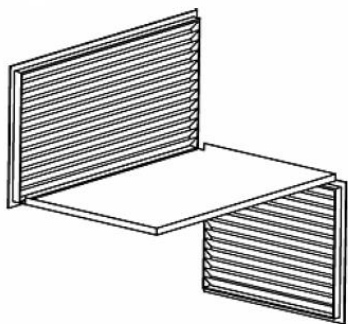
5.3.3 Odabir klimatizacijske jedinice za prodajni prostor

Odabir klimatizacijske jedinice za pripremu vanjskog zraka prodajnog prostora, proveden je korištenjem računalnog programa SystemAirCAD od proizvođača Systemair. Za prodajni prostor predviđena je klimatizacijska jedinica proizvođača Systemair tip Geniox Comfort 20DR u vanjskoj izvedbi (Slika 5.15). Ukupna masa jedinice iznosi 2961 kg, a gabaritne dimenzije 6382x2082x2302 mm.



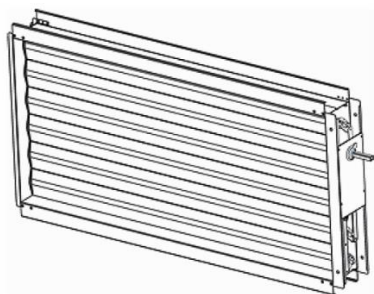
Slika 5.15 – Klimatizacijska jedinica za pripremu zraka prodajnog prostora

Klimatizacijska jedinica se sastoji od sljedećih komponenti:



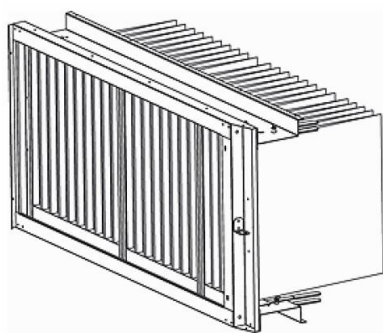
Slika 5.16 – Protukišna rešetka klima jedinice Geniox Comfort 20DR

- Pad tlaka dobava/odsis: 20/60 Pa



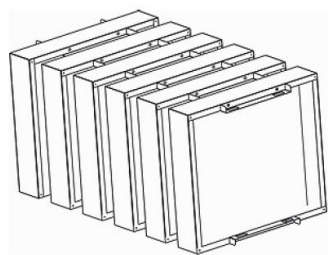
Slika 5.17 – Regulacijska žaluzina klima jedinice Geniox Comfort 20DR

- Pad tlaka: 1Pa



Slika 5.18 – Vrećasti filter klima jedinice Geniox Comfort 20DR

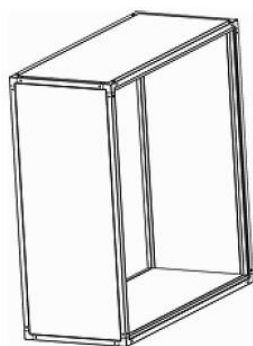
- Projektni pad tlaka dobava/odsis: 101/69 Pa
- Početni-konačni pad tlaka dobava/odsis: 42-160/23-115 Pa
- Nastrujna brzina dobava/odsis: 1,71/1,53 m/s
- Klasa filtera dobava/odsis: F7/M5
- Dužina filtera: 520 mm
- Proizvođač i tip: Camfil Hi-Flo II XLT



- Pad tlaka dobava/odsis: 20/9 Pa
- Ovisnost prigušenja o frekvenciji:

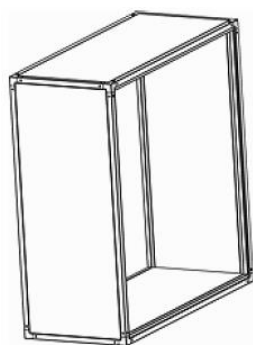
f[Hz]	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
De[dB]	5	11	17	25	36	39	36	28

Slika 5.19 – Prigušivač zvuka klima jedinice Geniox Comfort 20DR



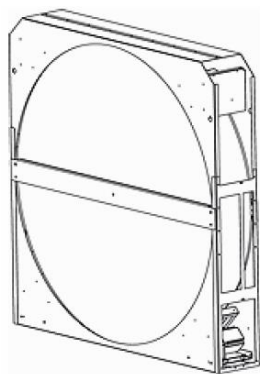
- Pad tlaka: 1Pa

Slika 5.20 – Prazna sekcija klima jedinice Geniox Comfort 20DR



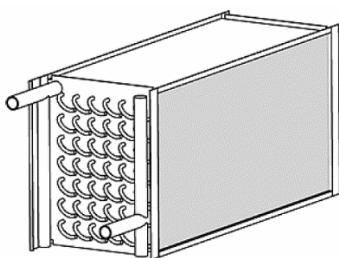
- Pad tlaka: 1Pa

Slika 5.21 – Inspekcijska sekcija klima jedinice Geniox Comfort 20DR



Slika 5.22 – Sorpcijski rotirajući regeneratorski klima jedinice Geniox Comfort 20DR

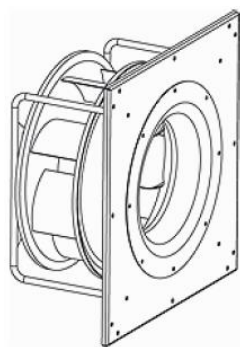
- Tip: Sorpcijski
- Promjer rotora: 1840mm
- Pogon rotora: promjenjiva brzina vrtnje
- 1x230V, 40W, 0.7A
- Ugradnja brtvenice i ustave: Da
- Pad tlaka dobava/odsis: 145/130 Pa
- Stupanj povrata osjetne topline: 77,2%
- Stupanj povrata vlage: 80,4%
- ZIMSKI REŽIM RADA
 - Temperatura prije i nakon: -7,7/14,5°C
 - Relativna vlažnost prije i nakon: 66/51%
 - Ogrjevni učin: 104kW
- LJETNI REŽIM RADA
 - Temperatura prije i nakon: 31,8/25,8°C
 - Relativna vlažnost prije i nakon: 50/51%
 - Rashladni učin: 55kW



Slika 5.23 – Grijač/Hladnjak klima jedinice Geniox Comfort 20DR

- Priključak ulaz/izlaz: 1 1/4" / 1 1/4"
- Materijal cijevi: Bakar
- Materijal orebrenja: Aluminij
- Razmak orebrenja: 2,5mm
- Broj redova: 4
- Vrsta kapljevine: Etilen-glikol (25%)
- Zapremina: 21,7 l
- GRIJANJE
 - Pad tlaka: 39 Pa

- Temperatura prije i nakon: 14,5/19°C
- Relativna vlažnost prije i nakon: 51/38%
- Ukupni ogrjevni učin: 14,53kW
- Temperatura ulaza/izlaza vode: 35/30°C
- Volumni protok vode: 0,73 l/s
- Pad tlaka na strani vode: 15,7 kPa
- Brzina strujanja vode: 0,63 m/s
- HLAĐENJE
 - Pad tlaka: 33 Pa
 - Temperatura prije i nakon: 25,8/20°C
 - Relativna vlažnost prije i nakon: 51/71%
 - Ukupni rashladni učin: 20,66kW
 - Udio osjetnog u ukupnom učinku: 90%
 - Temperatura ulaza/izlaza vode: 7/12°C
 - Volumni protok vode: 1,07 l/s
 - Pad tlaka na strani vode: 24,8 kPa
 - Brzina strujanja vode: 0,92 m/s



Slika 5.24 – Dobavni/odsisni ventilator klima jedinice Geniox Comfort 20DR

- Tip elektromotora: EC motor
- Snaga: 3,50 kW
- Nazivni broj okretaja: 1860 o/min

5.3.4 Odabir rekuperatorske jedinice za pomoćne prostorije

Za pomoćne prostorije je odabrana podstropna rekuperatorska jedinica RPL100W, proizvođača Aermec (Slika 5.25).



Slika 5.25 – Odabrana podstropna rekuperatorska jedinica za pomoćne prostorije

Uređaj se sastoji od dva ventilatora (dobavni i odsisni), dva filtera zraka (F7 u struji dobavnog zraka, M5 u struji odsisnog zraka), vodenog izmjenjivača topline s kadicom za skupljanje kondenzata, pločastog rekuperatora topline i *bypassa* sa servo pogonom.

Karakteristike rekuperatorske jedinice:

- Stupanj povrata topline pločastog rekuperatora: 75,3 %
- Nazivni protok zraka (dobava i odsis): 950 m³/h
- Minimalni protok zraka (dobava i odsis): 550 m³/h
- Nazivni vanjski pad tlaka: 125 Pa
- Nastrujna brzina na površinu filtera: 1,4 m/s
- Izmjenjivač topline - Hlađenje (kataloške vrijednosti)
 - Ukupni rashladni učin: 6,3 kW
 - Osjetni rashladni učin: 3,3 kW
 - Temperatura zraka: 18,1 °C

- Vlažnost zraka: 81 %
- Pad tlaka na strani zraka: 38 Pa
- Ulazna temperatura vode: 7 °C
- Izlazna temperatura vode: 12 °C
- Protok vode: 1079 l/h
- Pad tlaka na strani vode: 25 kPa
- KORIGIRANE VRIJEDNOSTI
 - Ukupni rashladni učin: 4,83 kW
 - Temperatura zraka ulaz/izlaz: 25,9/20 °C
 - Ulazna/izlazna temp. vode: 7/12 °C
 - Protok vode: 829,74 l/h
 - Pad tlaka na strani vode: 15 kPa
- Izmjenjivač topline - Grijanje (kataloške vrijednosti)
 - Ukupni ogrjevnj učin: 10,1 kW
 - Temperatura zraka: 46,9 °C
 - Pad tlaka na strani zraka: 26,7 Pa
 - Ulazna temperatura vode: 70 °C
 - Izlazna temperatura vode: 60 °C
 - Protok vode: 885,1 l/h
 - Pad tlaka na strani vode: 13 kPa
 - KORIGIRANE VRIJEDNOSTI
 - Ukupni ogrjevnj učin: 5,4 kW
 - Temperatura zraka ulaz/izlaz: 8,53/19 °C
 - Ulazna/izlazna temp. vode: 35/30 °C
 - Protok vode: 929,09 l/h
 - Pad tlaka na strani vode: 15 kPa
- Priključak vode (ulaz/izlaz): ½“ / ½“

6. DIMENZIONIRANJE VODENOG SUSTAVA

6.1 DIMENZIONIRANJE OGRJEVNIH/RASHLADNIH TIJELA

Za pokrivanje toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja prostorije potrebno je dimenzionirati i odabrati ogrjevna/rashladna tijela. U prostorijama trgovine koriste se ventilokonvektori kao ogrjevna/rashladna tijela. Za prostor prodaje i skladišta, predviđene su stropne kazetne jedinice. Jedinice se smještaju u konstrukciju spuštenog stropa. U ostale pomoćne prostorije postavljaju se parapetni ventilokonvektori. Kataloške vrijednosti rada ventilokonvektora se preračunavaju za sljedeće projektne uvjete:

Grijanje

- Temperaturni režim vode: 35/30°C
- Unutarnja projektna temperatura: 24°C u prostorijama garderobe
15°C u prostoru skladišta
21°C ostale prostorije

Hlađenje

- Temperaturni režim vode: 7/12°C
- Unutarnja projektna temperatura: 24°C

Preračunavanje se vršilo uz pomoć računalnog programa Magellano, proizvođača Aermec. Odabrani tipovi ventilokonvektora za dvocijevni sustav nalaze se na Slika 6.1 i Slika 6.2. Kazetni ventilokonvektori umjesto vode koriste otopinu etilen-glikola u vodi (25%).



Slika 6.1 – Kazetni ventilokonvektori FCLI
[9]



Slika 6.2 – Parapetni ventilokonvektori FCX
[9]

Ventilokonvektori su odabrani na način da se zadovolje sve potrebe po pitanju toplinskih gubitaka te ukupnog i osjetnog toplinskog opterećenja (Tablica 6.1). U Tablica 6.2 prikazani su odabrani tipovi ventilokonvektora, njihov broj u pojedinoj prostoriji, volumni protok zraka, instalirani učini, izlazna temperatura zraka, volumni protok vode i pad tlaka na strani vode.

Tablica 6.1 – Potreban i instalirani toplinski učin ventilokonvektora

Oznaka	Prostorija	Potrebno		Instalirano	
		$\Phi_{HL,i}$	$\Phi_{CL,i}$	Φ_g	Φ_h
		W	W	W	W
1	Prodaja	72510	103344	73260	104214
2	Skladište	4883	5705	4948	5730
3	Hodnik 1	1004	890	1021	1341
4	Garderoba M.	1224	4064	1650	4038
5	Garderoba Ž.	1022	2719	1010	2783
6	Čajna kuhinja	1003	3328	1001	3405
7	Soba za odmor	650	2055	1060	2170
8	Detektiv	593	2478	678	2542
9	Trezor	1583	7053	1754	7130
13	Hodnik 2	529	549	531	651

$\Phi_{HL,i}$	W	Toplinski gubici grijane prostorije
$\Phi_{CL,i}$	W	Toplinsko opterećenje hladene prostorije
$\Phi_{g,uk}$	W	Ukupno instalirani toplinski učin grijanja
$\Phi_{h,uk}$	W	Ukupno instalirani toplinski učin hlađenja
Φ_g	W	Toplinski učin grijanja ventilokonvektora
Φ_h	W	Toplinski učin hlađenja ventilokonvektora
$\vartheta_{z,g}$	°C	Temperatura zraka po izlasku iz ventilokonvektora, grijanje
$\vartheta_{z,h}$	°C	Temperatura zraka po izlasku iz ventilokonvektora, hlađenje
$\dot{V}_{w,g}$	l/s	Volumni protok vode kroz ventilokonvektor, grijanje
$\dot{V}_{w,h}$	l/s	Volumni protok vode kroz ventilokonvektor, hlađenje
$\Delta p_{w,g}$	kPa	Pad tlaka na strani vode ventilokonvektora, grijanje
$\Delta p_{w,h}$	kPa	Pad tlaka na strani vode ventilokonvektora, hlađenje

Tablica 6.2 – Dimenzioniranje ventilokonvektora

Oz.	Prostorija	Tip	Broj komada	Grijanje						Hlađenje			
				\dot{V}_z	Φ_g	$\vartheta_{z,g}$	$\dot{V}_{w,g}$	$\Delta p_{w,g}$	\dot{V}_z	Φ_h	$\vartheta_{z,h}$	$\dot{V}_{w,h}$	$\Delta p_{w,h}$
				m^3/h	W	°C	l/s	kPa	m^3/h	W	°C	l/s	kPa
1	Prodaja	FCL182	33	952	2220	28	0,0906	3	856	3158	15,6	0,1342	9
2	Skladište	FCL162	2	439	2474	14,7	0,1188	11	607	2865	12,9	0,1369	18
3	Hodnik 1	FCX24	1	290	1021	31,6	0,049	1	290	1341	11,8	0,0641	2
4	Garderoba M.	FCX64	1	520	1650	33,7	0,0792	2	720	4038	11,3	0,193	6
5	Garderoba Ž.	FCX44	1	330	1010	33,3	0,0485	2	460	2783	10,4	0,133	17
6	Čajna kuhinja	FCXI56	1	240	1001	33,6	0,0481	2	688	3405	11,4	0,1627	22
7	Soba za odmor	FCX42	1	330	1060	30,7	0,0509	2	460	2170	12,2	0,1037	6
8	Detektiv	FCXI40	1	227	678	30	0,0326	1	573	2542	12,1	0,1215	10
9	Trezor	FCXI56	2	208	877	33,7	0,0421	2	720	3565	11,5	0,1704	24
13	Hodnik 2	FCX17	1	160	531	31	0,0255	1	160	651	12,9	0,0311	1

6.2 ODABIR IZVORA OGRJEVNOG I RASHLADNOG UČINA

Kao izvor ogrjevnog i rashladnog učina predviđene su dvije dizalice topline zrak-voda. Glavna ideja je postići neovisne sustave izvora topline prostora prodaje i pomoćnih prostorija. Razlog tome su mogući različiti zahtjevi na režim grijanja i hlađenja, što je posebno izraženo u prijelaznim razdobljima. Prodajni prostor ima značajne unutarnje dobitke od rasvjete, ljudi i opreme te ga je često nužno hladiti u trenutku kada zaposlenicima u pomoćnim prostorijama odgovara režim grijanja.

Potreban ogrjevni kapacitet dizalice topline zrak-voda računa se kao zbroj instalirane snage ventilokonvektorskih uređaja i grijača za obradu zraka u zračnim jedinicama:

$$\Phi_{d.t,grijanje} = \Phi_{g,uk} + \Phi_{grijača} \quad (6.1)$$

Prostor prodaje:

$$\Phi_{d.t,grijanje} = 73,26 + 14,53 = 87,8 \text{ kW}$$

Pomoćne prostorije:

$$\Phi_{d.t,grijanje} = 13,65 + 3,34 = 17 \text{ kW}$$

Potreban rashladni kapacitet računa se kao zbroj ukupnog toplinskog opterećenja prostorija i potrebnog učina hladnjaka za obradu zraka u zračnim jedinicama:

$$\Phi_{d.t,hlađenje} = \Phi_{h,uk} + \Phi_{hladnjaka} \quad (6.2)$$

Prostor prodaje:

$$\Phi_{d.t,hlađenje} = 103,34 + 20,66 = 124 \text{ kW}$$

Pomoćne prostorije:

$$\Phi_{d.t,hlađenje} = 17,56 + 2,69 = 20,3 \text{ kW}$$

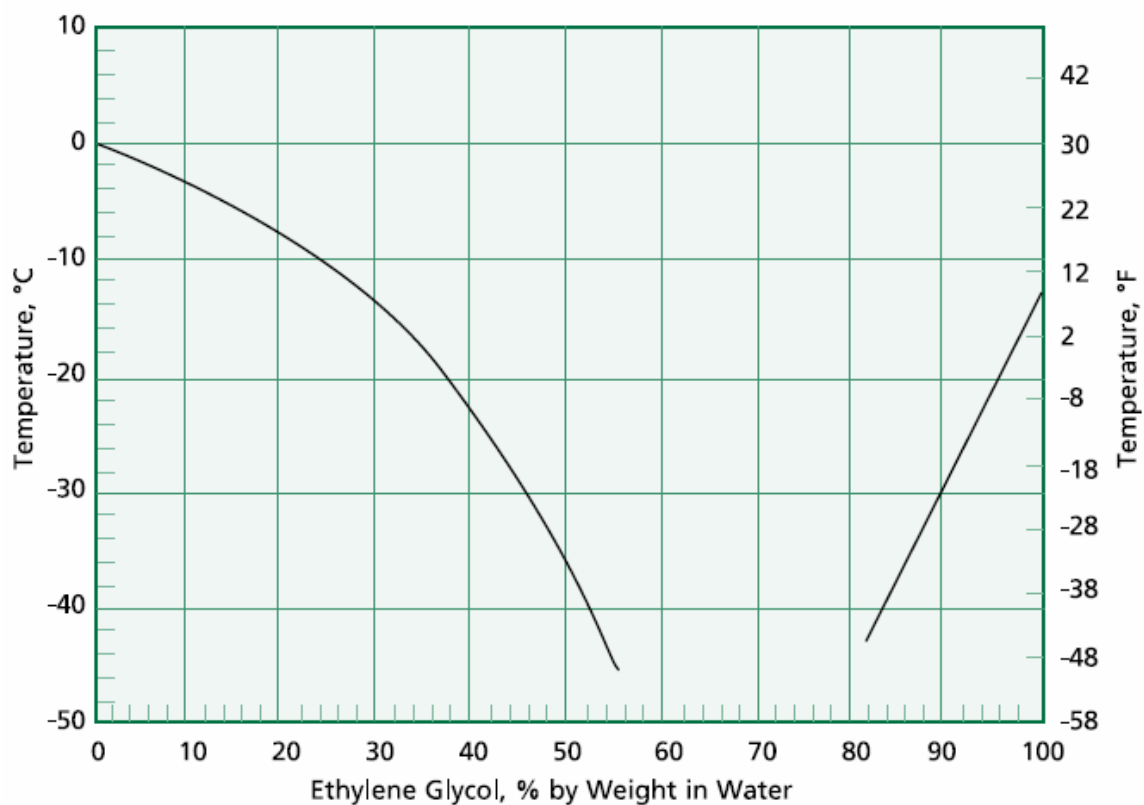
6.2.1 Prodajni prostor

Za prostor prodaje, odabrana je dizalica topline zrak-voda od proizvođača Aermec, tip NRL0650 (Slika 6.3).



Slika 6.3 – Dizalica topline NRL0650 zrak-voda za prostor prodaje [9]

Ukupni ogrjevni kapacitet prema katalogu iznosi 152,79 kW (režim vode 45/40°C, vanjska temperatura 7°C), a rashladni kapacitet 127,44 kW (režim vode 7/12°C, vanjska temperatura 35°C). Dolazi s ugrađenim hidroblokom koji u sebi sadrži spremnik od 500 l, dvije cirkulacijske pumpe paralelno spojene od kojih je samo jedna radna (druga u rezervi), filter kapljevine, odzračni ventil, ventil za automatsko punjenje, ekspanzijsku posudu 25 l i sigurnosni ventil. Uređaj je predviđen za smještaj na ravnom krovu. Budući da je vanjska projektna temperatura zraka -7,7°C, moguće je zaleđivanje vode unutar cijevi i opreme za vrijeme dužih prekida rada. Zbog navedenog razloga koristiti se otopina etilen-glikola i vode masenog udjela 25% (Slika 6.4) [10].

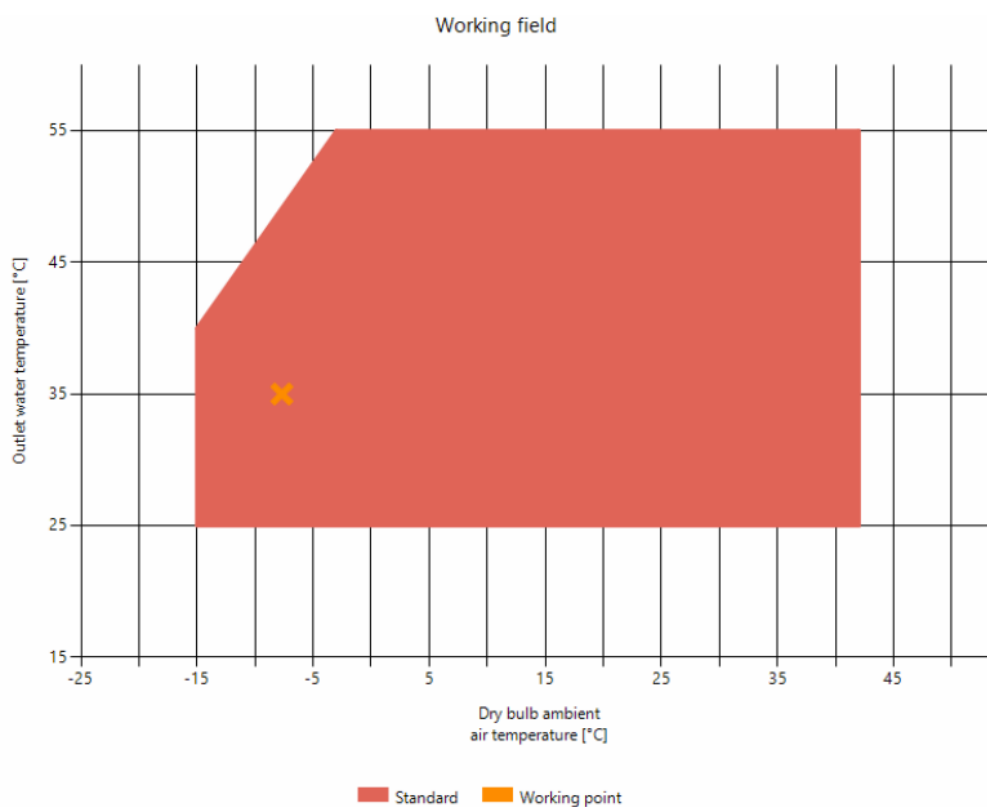


Slika 6.4 – Linija ledišta otopine etilen-glikola u vodi [10]

Proces odabira dizalice topline napravljen je korištenjem računalnog programa Magellano, proizvođača Aermec. Ulazni podaci su vanjske projektne temperature (zima/ljeto), temperature ulaza i izlaza kondicionirane vode i vrsta korištene kapljevine.

Radne karakteristike za režim rada u grijanju:

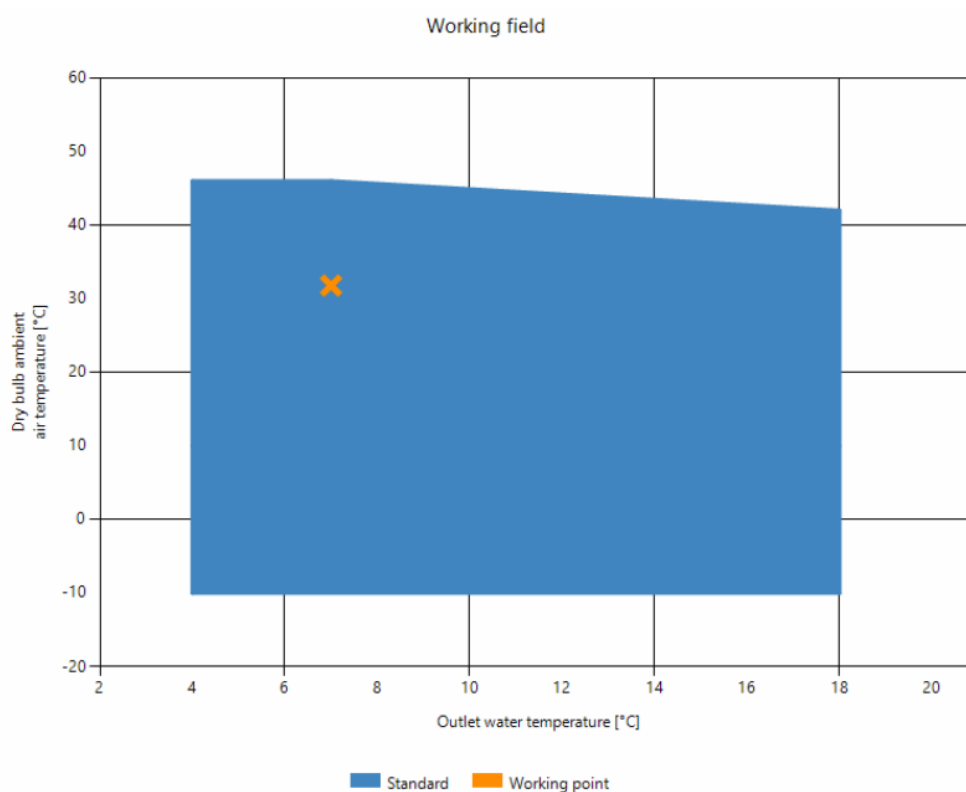
- Ogrjevni kapacitet: 91,9 kW
- Ulazna snaga kompresora: 35,7 kW
- Jakost struje: 74 A
- COP: 2,57
- Temp. ulaza/izlaza vode: 30/35 °C
- Temperatura suhog termometra: -7,7 °C
- Maseni udio etilen-glikola: 25%
- Volumni protok vode: 4,7911 l/s
- Pad tlaka kroz izmjenjivač: 20 kPa



Slika 6.5 – Radno područje dizalice topline prodajnog prostora za period grijanja

Radne karakteristike za režim rada u hlađenju:

- Rashladni kapacitet: 128,9 kW
- Ulazna snaga kompresora: 51,7 kW
- Jakost struje: 89 A
- EER: 2,49
- Temp. ulaza/izlaza vode: 12/7 °C
- Temperatura suhog termometra: 31,8 °C
- Maseni udio etilen-glikola: 25%
- Volumni protok vode: 6,8064 l/s
- Pad tlaka kroz izmjenjivač: 20 kPa



Slika 6.6 – Radno područje dizalice topline prodajnog prostora za period hlađenja

6.2.2 Pomoćne prostorije

Za pomoćne prostorije odabrana je dizalica topline zrak-voda proizvođača LG, tip ARUM100LTE5 (Slika 6.7). Uz dizalicu topline, koristi se dodatni hidroblok ARNH10GK2A2 (Slika 6.8).



Slika 6.7 – Dizalica topline zrak-voda za pomoćne prostorije [11]



Slika 6.8 – Dodatni hidroblok za dizalicu topline zrak-voda pomoćnih prostorija [11]

Dizalica topline je smještena na ravnom krovu, a hidroblok se nalazi unutar prostora predviđenog za smještaj opreme. Radna tvar R410A cirkulira od dizalice topline prema hidrobloku u kojemu se nalazi izmjenjivač topline.

Korekcijski proračun kapaciteta vršio se korištenjem računalnog programa LG LATS-HVAC. Kao ulazne vrijednosti postavljene su vanjske projektne temperature i radni režimi vode. Konačan kapacitet dizalice topline za grijanje iznosi 27,1 kW (za zimski projektni režim rada), a za hlađenje 28 kW (za ljetni projektni režim rada). Korigirani učin unutarnje jedinice (hidroblok) iznosi 27,1 kW za grijanje (priprema ogrjevnice vode 35/30°C) i 21,7 kW za hlađenje (priprema rashladne vode 7/12°C). Kako bi se smanjila učestalost pokretanja kompresora dizalice topline, odabran je spremnik od 300 l.

6.3 HIDRAULIČKI PRORAČUN CIJEVNE MREŽE I ODABIR PUMPI

Kako bi se ostvarila cirkulacija unutar vodenog sustava, nužno je pravilno dimenzionirati i odabrati pumpe. Osnovne ulazne vrijednosti za odabir pumpe su protok i pad tlaka. Pad tlaka se dobiva proračunom cijevne mreže po dionicama. Proračun kritičnih dionica vrši se za grijanje i hlađenje te se uzima režim rada koji daje veće padove tlaka kroz isti cjevovod.

U prostoru trgovine nalaze se dvije zasebne cijevne mreže. Jedna obuhvaća sustav prodajnog prostora, dok pomoćne prostorije obuhvaća druga cijevna mreža.

6.3.1 Prodajni prostor

Unutar cjevovoda prodajnog prostora cirkulira otopina etilen-glikola u vodi (25%). Svojstva za režim grijanja (za srednju temperaturu 32,5°C):

- Gustoća: 1022,35 kg/m³
- Specifični toplinski kapacitet: 3922,08 J/kgK

Svojstva za režim hlađenja (za srednju temperaturu 9,5°C):

- Gustoća: 1036,31 kg/m³
- Specifični toplinski kapacitet: 3858,86 J/kgK

Cijevna mreža prodajnog prostora povezuje dizalicu topline, razdjelnik/sabirnik, ventilokonvektore i grijač/hladnjak klimatizacijske jedinice. Ukupno se u sustavu nalazi tri kruga, nazvana prema komponentama koje povezuju:

- krug dizalica topline-razdjelnik/sabirnik (primarni krug)
- krug razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik (sekundarni krug)
- krug razdjelnik-klima jedinica-sabirnik (sekundarni krug)

Unutar cijelog prodajnog prostora, korištene su bakrene cijevi. Prema normi EN 1507, standardne dimenzije bakrenih cijevi mogu biti od 6 do 267 mm vanjskog promjera.

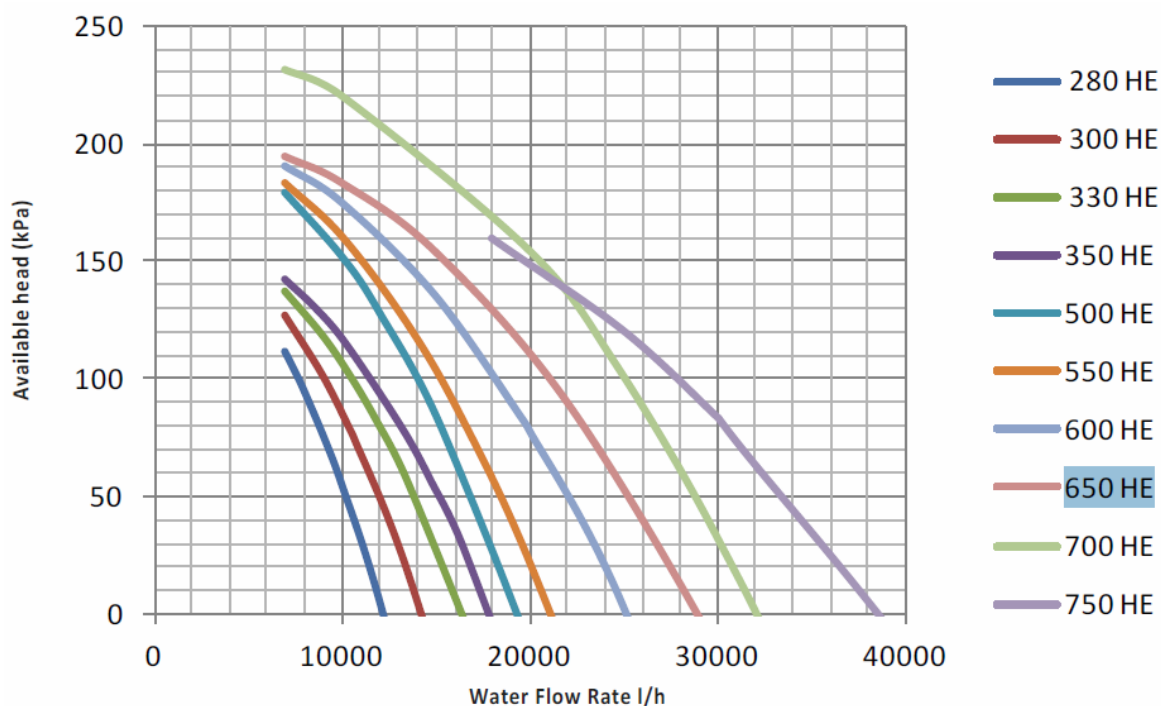
Krug dizalica topline-razdjelnik/sabirnik (primarni krug)

Za primarni krug provjerava se zadovoljavaju li pumpe (koje dolaze u sklopu hidrobloka dizalice topline) nametnutu visinu dobave. U Tablica 6.3 nalazi se proračun dionice za najkritičniji, ljetni režim rada.

Tablica 6.3 – Pad tlaka kruga dizalica topline-razdjelnik/sabirnik (prodajni prostor)

Br.	L	Φ_{inst}	$\dot{m} \cdot c_p$	\dot{m}	ϕD_{xs}	v	R	R·L	$\Sigma \zeta$	Z	RL+Z	Ukupno
	m	W	W/°C	kg/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	14	128900	25780	6,6807	88,9x2	1,14	150	2100	5	3360	5460	5460
											Σ	5460

Zahtijevana visina dobave iznosi 0,54 m što pojedinačna ugrađena pumpa s konstantnim protokom može savladati (Slika 6.9).



Slika 6.9 – Radne karakteristike pumpe koja dolazi u sklopu hidrobloka dizalice topline prodajnog prostora (linija 650HE) [9]

Krug razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik (sekundarni krug)

Tablica 6.4 prikazuje pad tlaka za kritičnu dionicu sekundarnog kruga koja povezuje sabirnik/razdjelnik s kazetnim ventilokonvektorima prodajnog prostora za režim hlađenja. U konačnom zbroju pada tlaka uzeti su u obzir padovi tlaka kroz ventilokonvektor, sabirnik/razdjelnik te popratnu armaturu.

Tablica 6.4 – Pad tlaka kruga razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik (prodajni prostor)

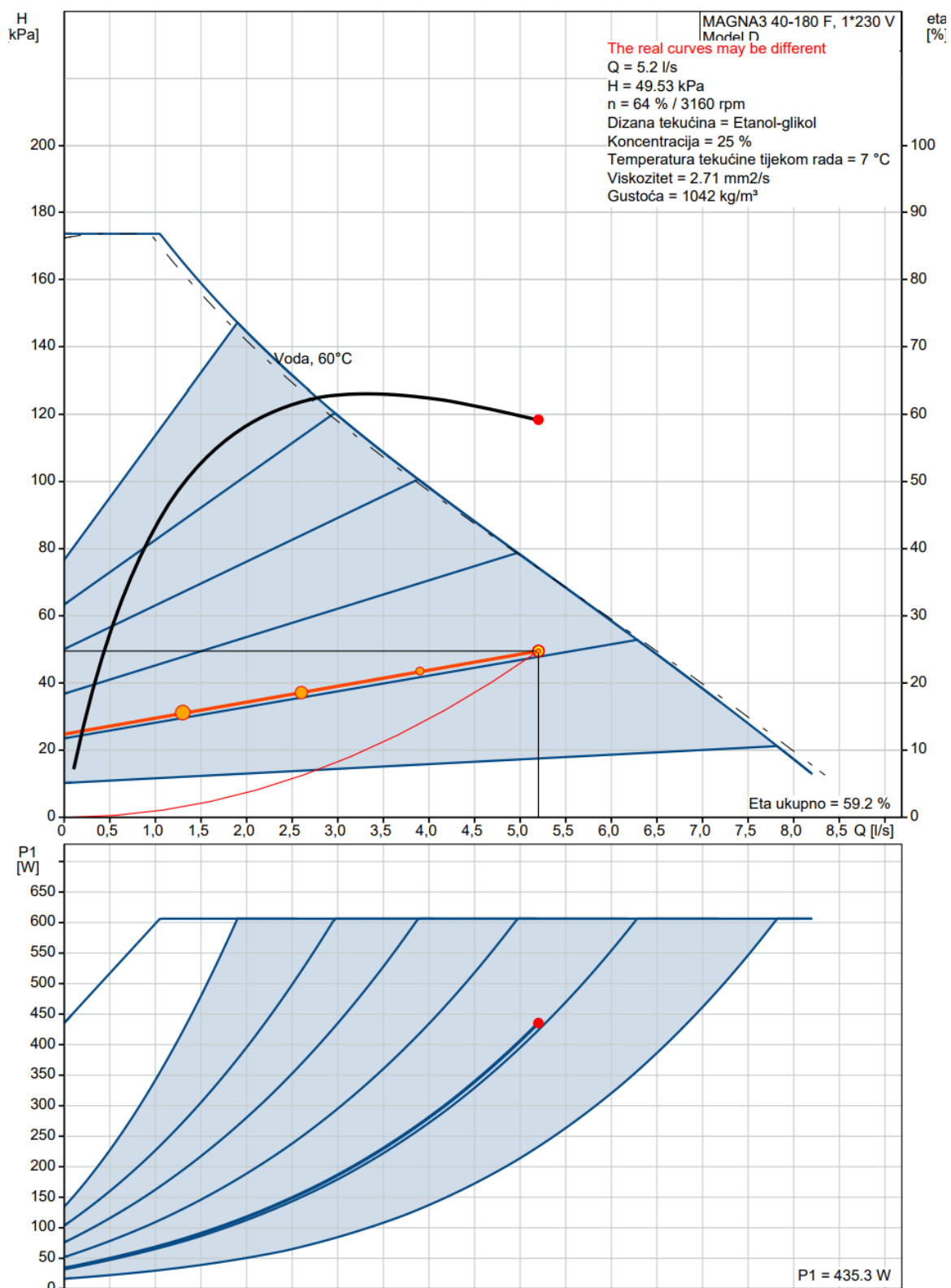
Br.	L	Φ_{inst}	$\dot{m} \cdot c_p$	\dot{m}	ϕD_{xs}	v	R	R·L	$\Sigma \zeta$	Z	RL+Z	Ukupno
	m	W	W/°C	kg/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	12,6	104214	20843	5,4013	76x2	1,3	200	2520	5	4246	6766	6766
2	4,4	72634	14527	3,7645	76x2	0,9	110	484	2	825	1309	1309
3	25,6	47370	9474	2,4551	54x1,5	1,2	290	7412	1,5	1045	8458	8458
4	7,5	44212	8842	2,2915	54x1,5	1,1	250	1875	0,5	304	2179	2179
5	7,5	41054	8211	2,1278	54x1,5	1,0	230	1725	0,5	262	1987	1987
6	7,5	37896	7579	1,9641	54x1,5	0,9	190	1425	0,5	223	1648	1648
7	7,5	34738	6948	1,8004	54x1,5	0,9	165	1238	0,5	187	1425	1425
8	7,5	31580	6316	1,6368	54x1,5	0,8	140	1050	0,5	155	1205	1205
9	7,5	28422	5684	1,4731	54x1,5	0,7	120	900	0,5	125	1025	1025
10	7,5	25264	5053	1,3094	54x1,5	0,6	90	675	0,5	99	774	774
11	15,0	22106	4421	1,1457	42x1,5	0,9	260	3900	0,5	222	4122	4122
12	7,5	18948	3790	0,9821	42x1,5	0,8	220	1650	0,5	163	1813	1813
13	7,5	15790	3158	0,8184	42x1,5	0,7	150	1125	0,5	113	1238	1238
14	7,5	12632	2526	0,6547	42x1,5	0,5	110	825	0,5	72	897	897
15	7,5	9474	1895	0,4910	35x1,5	0,6	170	1275	0,5	90	1365	1365
16	7,5	6316	1263	0,3274	28x1	0,6	210	1575	0,5	92	1667	1667
17	11,0	3158	632	0,1637	22x1	0,5	190	2098	4	524	2621	11621
											Σ	49499

Br.	-	Broj dionice
L	m	Dužina dionice
Φ_{inst}	W	Ukupno instalirani kapacitet
\dot{m}	kg/s	Maseni protok
c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet
$\phi D x_s$	mm	Vanjski promjer cijevi x debljina stijenke cijevi
$\Sigma \zeta$	-	Zbroj lokalnih koeficijenata pada tlaka
Z	Pa	Lokalni pad tlaka
R	Pa/m	Linijski pad tlaka iskazan po jednom metru cijevi (jedinični pad tlaka).

Za sekundarni krug prodajnog prostora (prema ventilokonvektorima), predviđena je frekventno regulirana pumpa. Prema rezultatima iz Tablica 6.4, potrebna je pumpa s visinom dobave od 4,87 m i protokom 5,2 l/s (18,72 m³/h). Pumpa se odabire uz pomoć web aplikacije proizvođača Grundfos. Odabrana je pumpa MAGNA3 40-180 F (Slika 6.10). Slika 6.11 prikazuje radnu točku pumpe.



Slika 6.10 – Pumpa sekundarnog kruga razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik



Slika 6.11 – Radna točka pumpe sekundarnog kruga razdjelnik-ventilokonvektori-sabirnik

Krug razdjelnik-klima jedinica-sabirnik (sekundarni krug)

U drugom, sekundarnom krugu prostora prodaje, dimenzionira se pumpa za dobavu kapljevine kroz izmjenjivač topline unutar klima jedinice. Pad tlaka od razdjelnika do klima jedinice i natrag prema sabirniku prikazan je Tablica 6.5.

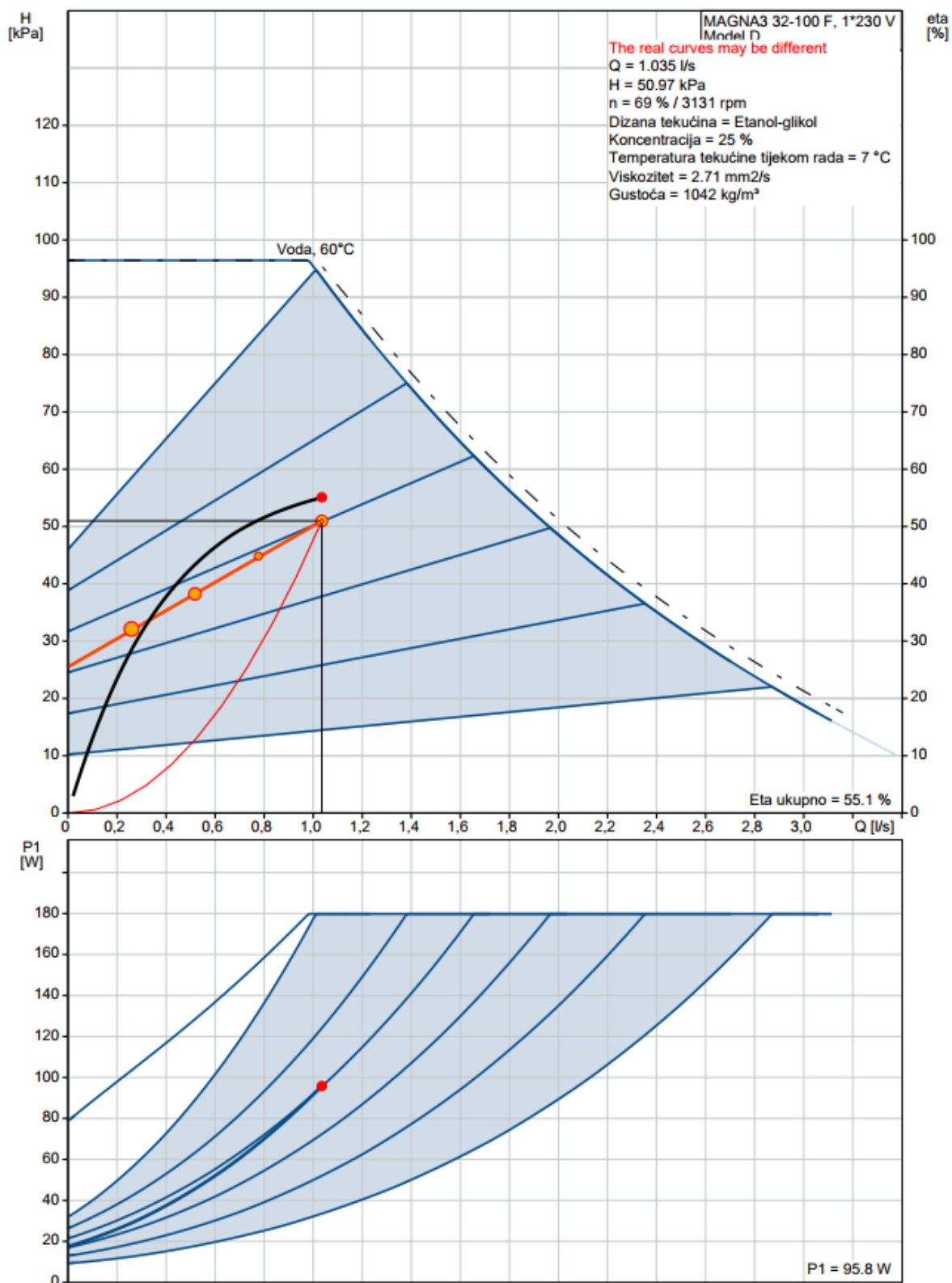
Tablica 6.5 – Pad tlaka sekundarnog kruga razdjelnik-klima jedinica-sabirnik

Br.	L	Φ_{inst}	$\dot{m} \cdot c_p$	\dot{m}	ϕD_{xs}	v	R	R·L	$\Sigma \zeta$	Z	RL+Z	Ukupno
	m	W	W/°C	kg/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	101,2	20700	4140	1,0729	42x1,5	0,9	220	22264	10	3892	26156	50956
											Σ	50956

Prikazani pad tlaka je za režim hlađenja. Prema rezultatima, potrebna je pumpa s visinom dobave od 5,01m i protokom 1,04 l/s (3,74 m³/h). Odabrana je frekventno regulirana pumpa MAGNA3 32-100 F (Slika 6.12) koja se spaja pomoću priрубnice DN 32. Slika 6.13 prikazuje radnu točku pumpe.



Slika 6.12 – Pumpa sekundarnog kruga razdjelnik-klima jedinica-sabirnik



Slika 6.13 – Radna točka pumpe sekundarnog kruga razdjelnik-klima jedinica-sabirnik

6.3.2 Pomoćne prostorije

U cjevovodima pomoćnih prostorija cirkulira prethodno obrađena voda od strane trgovačkog centra. Cjevovod se dijeli u dva kruga:

- Krug hidroblok dizalice topline-spremnik
- Krug potrošača

Glavne dionice cjevovoda izvedene su s bakrenim cijevima, dok se parapetni ventilokonvektori povezuju s PEX-Al-PEX cijevima. Razlog korištenja višeslojnih cijevi je radi lakše ugradnje u zakrivljene plohe zidova.

Krug hidroblok dizalice topline-spremnik

Izmjenjivač topline unutar hidrobloka dizalice topline, zahtjeva konstantan protok, stoga će se odabrati pumpa konstantnog protoka prema izračunatim padovima tlaka (Tablica 6.6).

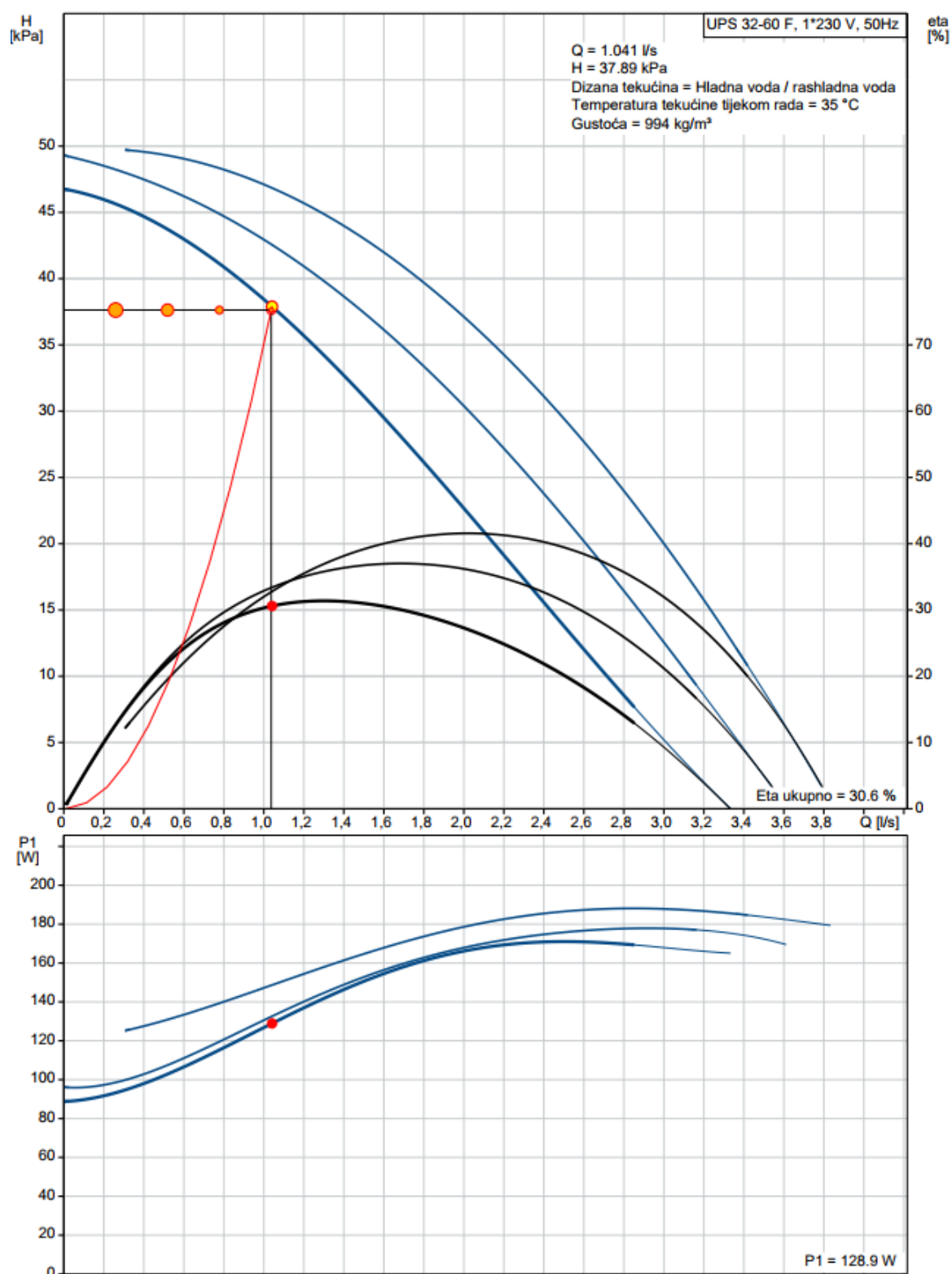
Tablica 6.6 – Pad tlaka kruga hidroblok dizalice topline-spremnik

Br.	L	Φ_{inst}	$\dot{m} \cdot c_p$	\dot{m}	ϕD_{xs}	v	R	R·L	$\Sigma \zeta$	Z	RL+Z	Ukupno
	m	W	W/°C	kg/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	2	21700	4340	1,0365	54x1,5	0,5	55	110	4	515	625	37625
											Σ	37625

U stupcu „Ukupno“ uzeti su u obzir padovi tlaka na izmjenjivaču topline, spremniku i armaturi. Potrebna je pumpa s visinom dobave od 3,84m i protokom 1,04 l/s. Odabrana je pumpa UPS 32-60 F s tri brzine (Slika 6.14). Slika 6.15 prikazuje radnu točku pumpe.



Slika 6.14 – Pumpa kruga hidroblok dizalice topline-spremnik



Slika 6.15 – Radna točka pumpe kruga hidroblok dizalice topline-spremnik

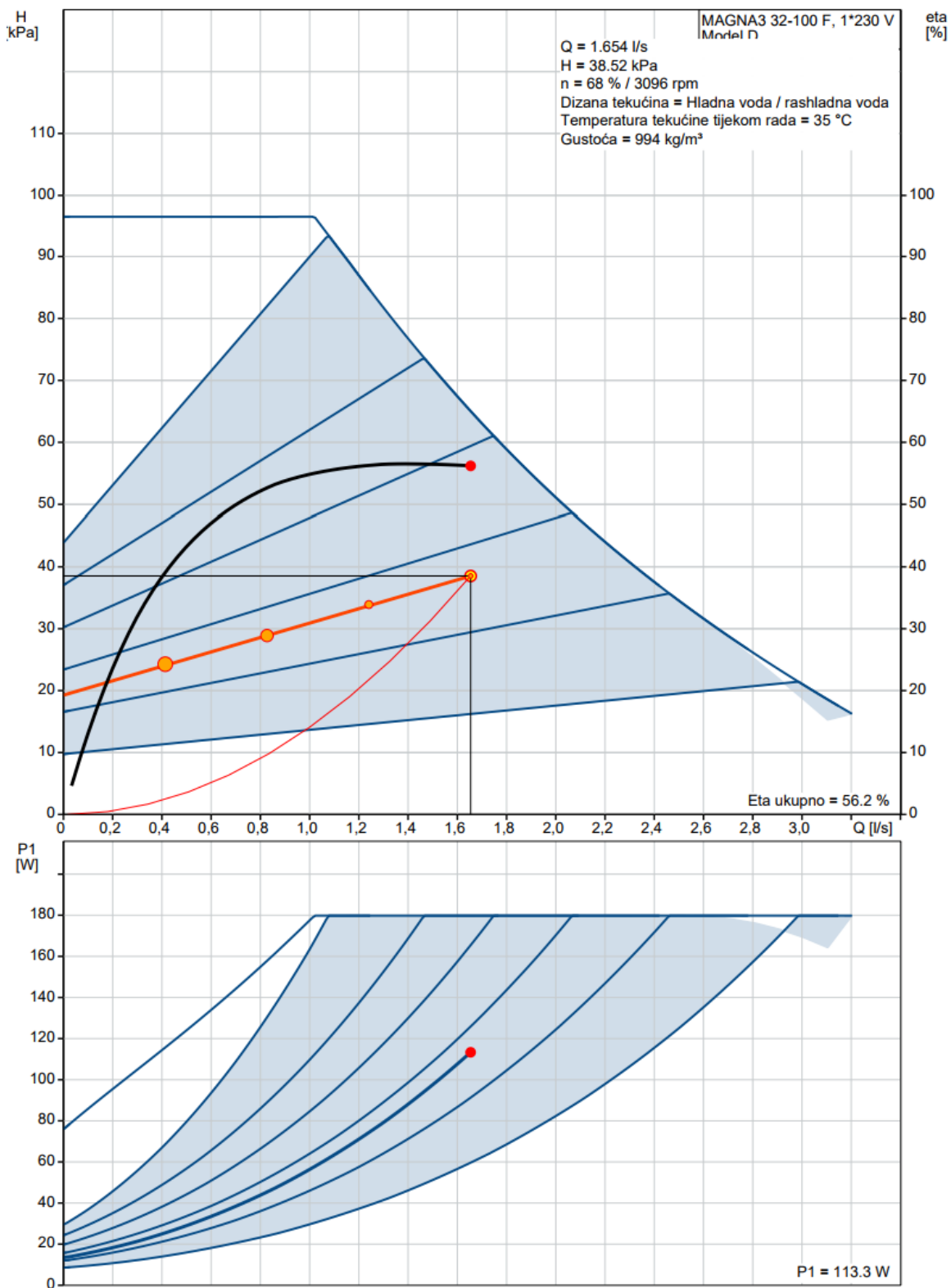
Krug potrošača

Krug potrošača obuhvaća kazetne ventilokonvektore u prostoru skladišta, izmjenjivač topline unutar rekuperatorske jedinice i parapetne ventilokonvektore unutar pomoćnih prostorija. Krična dionica je prema ventilokonvektoru u prostoriji trezora. Proračun pada tlaka prikazan je Tablica 6.7 za režim hlađenja.

Tablica 6.7 – Pad tlaka kruga potrošača

Br.	L	Φ_{inst}	$\dot{m} \cdot c_p$	\dot{m}	ϕD_{xs}	v	R	R·L	$\Sigma \zeta$	Z	RL+Z	Ukupno
	m	W	W/°C	kg/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	8,2	34620	6924	1,6537	54x1,5	0,8	150	1230	4	1311	2541	2541
2	14,9	22719	4544	1,0852	50x4	0,8	145	2163	4	1227	3391	3391
3	8	18681	3736	0,8923	50x4	0,6	100	800	0,5	104	904	904
4	7,5	15898	3180	0,7594	40x3,5	0,9	230	1725	0,5	197	1922	1922
5	4,6	12493	2499	0,5968	40x3,5	0,7	160	738	0,5	122	859	859
6	3,1	11842	2368	0,5657	40x3,5	0,7	140	437	0,5	109	546	546
7	6,3	9672	1934	0,4620	40x3,5	0,5	100	627	0,5	73	700	700
8	5,3	7130	1426	0,3406	32x3	0,6	180	950	2	412	1362	1362
9	8,9	3565	713	0,1703	26x3	0,5	194	1723	4	588	2310	26310
											Σ	38535

Potrebna je pumpa s visinom dobave od 3,93m i protokom 1,65 l/s (5,94 m³/h). Odabrana je frekventno regulirana pumpa MAGNA3 32-100 F koja se spaja pomoću priрубnice DN 32. Slika 6.16 prikazuje radnu točku pumpe.



Slika 6.16 – Radna točka pumpe kruga potrošača

6.4 DIMENZIONIRANJE I ODABIR EKSPANZIJSKE POSUDE

Za vodeni sustav trgovine, potrebno je dimenzionirati i odabrati ekspanzijske posude. Ekspanzijska posuda se koristi radi održavanja tlaka u sustavu unutar zadanih granica, što uključuje podešavanje minimalnog tlaka i sprječavanje prekoračenja najvećeg dozvoljenog radnog pretlaka. Također, sudjeluje u kompenzaciji promjene volumena ogrjevnog medija kao posljedica promjene temperature. Omogućuje pokrivanje manjka ogrjevnog/rashladnog medija tijekom pogona sustava preko dodatne zalihe vode [1].

U vodenom krugu prodajnog prostora, membranska ekspanzijska posuda od 25 l i sigurnosni ventil od 6 bara dolaze u sklopu hidrobloka dizalice topline. Potrebno je provjeriti zadovoljava li ugrađena posuda zahtjev za minimalnim volumenom ekspanzijske posude.

Minimalni volumen membranske ekspanzijske posude računa se prema sljedećem izrazu:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} \quad (6.3)$$

$V_{n,min}$	l	Minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude
V_e	l	Volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda od 35°C
V_V	l	Dodatni volumen, uzima se oko 0,5% volumena vode u instalaciji, minimalno 3 litre
p_e	bar	Projektni krajnji tlak, povezan s točkom otvaranja sigurnosnog ventila (kod sustava koji rade pri tlakovima manjim od 5 bara procjenjuje se na 0,5 bara ispod tlaka sigurnosnog ventila)
p_o	bar	Primarni tlak ekspanzijske posude (tlak plina prilikom isporuke)

Volumen širenja vode uslijed povišenja temperature vode računa se prema jednadžbi:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} \quad (6.4)$$

n	%	Postotak širenja (dobije se linearnom interpolacijom između tabličnih vrijednosti za najvišu temperaturu polaza koja iznosi 35°C)
V_A	l	Ukupni volumen vode u sustavu

U Tablica 6.8 prikazana je zapremina komponenti vodenog sustava prodajnog prostora.

Tablica 6.8 – Ukupni volumen vode u komponentama vodenog sustava prodajnog prostora

Naziv komponente	Volumen
	l
Dizalica topline	10,8
Spremnik vode	500
Razdjelnik/sabirnik	13,3
Ventilokonvektori	66
Grijač/hladnjak klima jedinice	21,7
Cjevovod	815,3
Σ	1427

Za prostor prodaje minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude iznosi:

$$V_{n,min} = (7,78 + 7,14) \cdot \frac{5,5 + 1}{5,5 - 1} = 21,5 \text{ l}$$

Ugrađena ekspanzijska posuda od 25 l zadovoljava minimalni volumen.

Prije proračuna minimalnog potrebnog volumena ekspanzijske posude za vodeni sustav pomoćnih prostorija, odabire se odgovarajući sigurnosni ventil. Nazivni tlak otvaranja sigurnosnog ventila se odabire kao 10% iznad najvećeg radnog tlaka u sustavu. Odabran je sigurnosni ventil od 3 bara. Tablica 6.9 prikazuje zbroj volumena vode unutar komponenti vodenog sustava pomoćnih prostorija.

Tablica 6.9 – Ukupni volumen vode u komponentama vodenog sustava pomoćnih prostorija

Naziv komponente	Volumen
	l
Hidroblok	1,5
Spremnik vode	300
Ventilokonvektori	22
Grijač/hladnjak rekuperatorske jedinice	4
Cjevovod	150
Σ	478

Za pomoćne prostorije minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude iznosi:

$$V_{n,min} = (2,597 + 3) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1} = 13,1 \text{ l}$$

Odabire se membranska ekspanzijska posuda od 18 litara, proizvođača REFLEX (Slika 6.17).

**Slika 6.17 – Membranska ekspanzijska posuda za vodeni sustav pomoćnih prostorija**

7. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

Trgovina ukupne korisne površine 1900 m² nalazi se u sklopu trgovačkog centra na etaži +5. Trgovački centar smješten je na području grada Rijeke. Prostor trgovine dijeli se na dvije zone, prodajni prostor i pomoćne prostorije. Proračun toplinskih gubitaka vršio se prema normi HRN EN 12831. Ukupni toplinski gubici prodajnog prostora iznose 72,51 kW, a toplinski gubici pomoćnih prostorija 12,94 kW. Proračun projektnog toplinskog opterećenja napravljen je korištenjem smjernice VDI 2078. Ukupno projektno toplinsko opterećenje za prodajni prostor iznosi 103,34 kW, dok za pomoćne prostorije iznosi 14,69 kW. Za kondicioniranje zraka i ostvarivanje toplinske ugodnosti u unutrašnjosti prostora, koristi se zračno-vodeni sustav. Zračni sustav se koristi za potrebe ventilacije i održavanja kvalitete zraka, dok se s vodenim sustavom pokrivaju ukupni toplinski gubici i toplinska opterećenja prostorija. Unutar trgovine nalaze se dva zračno-vodena sustava. Jedan je namijenjen kondicioniranju zraka u prodajnom prostoru, dok drugi obuhvaća pomoćne prostorije.

7.1 GRIJANJE/HLAĐENJE

7.1.1 Prodajni prostor

Za potrebe kondicioniranja zraka prodajnog prostora ugrađuju se stropni kazetni ventilokonvektori. Ukupno su predviđene 33 unutarnje jedinice, svaka kapaciteta 2,2 kW za grijanje i 3,2 kW za potrebe hlađenja. Unutarnja projektna temperatura prostora iznosi 21°C za grijanje i 24°C za hlađenje. U periodu grijanja ventilokonvektori rade s temperaturnim režimom 35/30°C, a u periodu hlađenja s temperaturnim režimom 7/12°C. Kao ogrjevn/rashladni medij koristi se otopina etilen-glikola u vodi (25%). Vodeni sustav u potpunosti pokriva sve toplinske gubitke i sva toplinska opterećenja. Cijevni razvod za grijanje/hlađenje i odvod kondenzata se ugrađuje podstropno i biva skriven u spušenom stropu. Svi cjevovodi se toplinski izoliraju. Odvod kondenzata izvodi se s određenim stupnjem pada cijevi kako bi se kondenzat nesmetano gravitacijski odvodio. Cijevi od kondenzata spajaju se na obližnje vertikale za oborinsku odvodnju. Unutar prostora prodaje nalaze se četiri sobna regulatora koja u ovisnosti o unutrašnjoj temperaturi reguliraju učin ventilokonvektora promjenom protoka vode na regulacijskom ventilu i promjenom protoka zraka regulacijom rada ventilatora. Ventilokonvektori su zonski raspodijeljeni na četiri sobna regulatora koja se nalaze na stupovima prodajnog prostora. Cirkulaciju kapljevine u sustavu

osigurava frekventno regulirana pumpa MAGNA3 40-180 F. Krug ventilokonvektora čini sekundarni krug koji se spaja na primarni preko razdjelnika i sabirnika. Kao glavni izvor ogrjevnog i rashladnog učina koristi se dizalica topline zrak-voda koja za projektni režim u grijanju radi s kapacitetom od 91,9 kW, a za projektne uvjete u hlađenju omogućuje 128,9 kW. U sklopu dizalice topline nalazi se hidroblok koji uključuje spremnik od 500 l, dvije cirkulacijske pumpe paralelno spojene od kojih je samo jedna radna (druga u rezervi), filter kapljevine, odzračni ventil, ventil za automatsko punjenje, ekspanzijsku posudu od 25 l i sigurnosni ventil (6 bara). Dizalica topline je smještena na ravnom krovu na način da je dužina dionice cjevovoda koja prolazi kroz vanjski okoliš minimalna. Svi vanjski cjevovodi obavezno se izoliraju. Dizalica topline spaja se na glavni električni ormar trgovine te se režim rada prebacuje u ovisnosti o potrebama.

7.1.2 Pomoćne prostorije

U pomoćne prostorije ugrađuju se parapetni ventilokonvektori kao ogrjevnja/rashladna tijela. Iznimku čini prostor skladišta gdje se postavljaju dva kazetna (stropna) ventilokonvektora. Kroz ventilokonvektore prolazi voda režima 35/30 °C za period grijanja i 7/12 °C za period hlađenja. Učinom ventilokonvektora upravlja se u ovisnosti o postavljenoj i očitanoj unutarnjoj temperaturi na sobnom termostatu. Regulacija se postiže promjenom protoka vode uz pomoć regulacijskog ventila i promjenom brzine okretaja elektromotora ventilatora. Na kraju ogranka, postavlja se prestrujni ventil, kako u slučaju zatvaranja svih ventilokonvektora ne bi došlo do hidrauličkog udara. Cirkulaciju vode u sustavu omogućuje frekventno regulirana pumpa MAGNA3 32-100 F. Kao izvor topline u sustavu pomoćnih prostorija koristi se dizalica topline zrak-voda koja za projektni režim u grijanju radi s kapacitetom od 27,1 kW, a za projektne uvjete u hlađenju omogućuje 28 kW. Dizalica topline je smještena na ravnom krovu. Cijevi s radnom tvari R410A prolaze kroz ploču ravnog krova i ulaze u područje prostorije namijenjene za smještaj opreme. Cijevi se unutar zatvorenog prostora spajaju na hidroblok ARNH10GK2A2 u kojem dolazi do izmjene toplinskog toka između ogrjevnje/rashladne vode i radne tvari. Učin hidrobloka iznosi 27,1 kW za grijanje (priprema ogrjevnje vode 35/30°C) i 21,7 kW za hlađenje (priprema rashladne vode 7/12°C). Hidroblok se potom povezuje sa spremnikom volumena 300 l pri čemu čini zatvoreni krug, nazvan krug hidroblok dizalice topline-spremnik. Unutar navedenog kruga, cirkulaciju omogućuje pumpa konstantnog protoka s tri brzine UPS 32-60 F. Uključivanje/isključivanje

pumpe je regulirano od strane automatike hidrobloka na temelju ulaznih vrijednosti temperaturnih osjetnika koji se postavljaju na polazni i povratni vod izmjenjivača topline i unutar spremnika.

7.2 VENTILACIJA

7.2.1 Prodajni prostor

U prodajni prostor ugrađuju se dobavni i odsisni elementi za potrebe dobave svježeg vanjskog zraka i odsisa istrošenog zraka iz prostorije. Projektni protok dobavnog zraka iznosi $9600 \text{ m}^3/\text{h}$, dok odsisni protok iznosi $8600 \text{ m}^3/\text{h}$. Većim dobavnim protocima u odnosu na odsisne, nastoji se postići pretlak unutar prostorije. Dobavni difuzori smješteni su iznad radnih mjesta osoblja (iznad blagajni) te uz vanjske zidove. Odsis zraka vrši se kroz središnji dio prodajnog prostora. Prije priključne kutije dobavnih difuzora postavljaju se regulatori varijabilnog protoka. Regulatorima varijabilnog protoka upravlja se prema izmjerenim vrijednostima CO_2 unutrašnjeg zraka. Raspodjela protoka na odsisnim otvorima vrši se ručno pomoću zaklopki koje se nalaze u sklopu priključne kutije. Dobavni i odsisni kanali se smještaju u područje spušenog stropa. Spoj krutih kanala i priključne kutije difuzora ostvaruje se preko fleksibilnog kanala čija duljina mora biti minimalna radi značajnog pada tlaka. Korišteni oblici kanala su pravokutni, okrugli i fleksibilni. Pravokutni se koriste na mjestima gdje postoji prostorna ograničenost. Prijelaz na okrugle vrši se gdje god je to prostorno moguće. Dobavni kanali se izoliraju u potpunosti, dok se odsisni kanal izolira samo u vanjskom prostoru. Zračni kanali prodiru kroz ploču ravnog krova i spajaju se na klimatizacijsku jedinicu prostora prodaje. Klimatizacijska jedinica sastoji se od dobavnog i odsisnog ventilatora, filtera F7 u dobavi te M5 u odsisu, prigušnih kutija, sorpcijskog rotacijskog regeneratora, izmjenjivača topline, regulacijskih žaluzina i protukišne rešetke. Za period grijanja, vanjski zrak temperature $-7,7^\circ\text{C}$ ulazi unutar klimatizacijske jedinice, preuzima osjetnu i latentnu toplinu od strane istrošenog zraka u rotacijskom regeneratorsu te se dogrijava na stanje ubacivanja od 19°C , za što mu je potreban kapacitet grijača od $14,5 \text{ kW}$. Za period hlađenja, zrak vanjske projektne temperature $31,8^\circ\text{C}$ predaje latentnu i osjetnu toplinu istrošenom zraku unutar sorpcijskog rotacijskog regeneratora te se odvlažuje i hladi na hladnjaku do temperature od 20°C , za što mu je potreban rashladni kapacitet hladnjaka od $20,7 \text{ kW}$. Budući da je unutar klimatizacijske jedinice samo jedan izmjenjivač, hlađenje i grijanje nije moguće ostvariti istovremeno. Režim rada ovisi o trenutačnom režimu rada

dizalice topline. Izmjenjivač topline klimatizacijske jedinice čini drugi sekundarni vodeni krug prostora prodaje. Od razdjelnika, frekventno regulirana pumpa MAGNA3 32-100 F dobavlja otopinu etilen-glikola (25%) do klimatizacijske jedinice. Regulacija učina izmjenjivača topline vrši se promjenom protoka regulacijskim ventilom na temelju očitane vrijednosti osjetnika temperature. Osjetnik temperature postavljen je iza izmjenjivača topline, u dobavnom zraku. Rad klimatizacijske jedinice regulira se od strane automatike klimatizacijske jedinice.

7.2.2 Pomoćne prostorije

Za potrebe ventiliranja pomoćnih prostorija, ugrađuje se podstropno u hodnik rekuperatorska jedinica. Uređaj se sastoji od dva ventilatora (dobavni i odsisni), dva filtera zraka (F7 u struji dobavnog zraka, M5 u struji odsisnog zraka), vodenog izmjenjivača topline s kadicom za skupljanje kondenzata, pločastog rekuperatora topline i *bypassa* sa servo pogonom. Dobavni i odsisni protoci zraka su jednaki i iznose $950 \text{ m}^3/\text{h}$. Zrak se do i od prostorija dovodi/odvodi putem kanala kružnog poprečnog presjeka. Ventilacijski kanali su izolirani toplinskom izolacijom te su ovješeni na montažne konzole podstropno. Na usisu vanjskog zraka i ispuhu istrošenog zraka, postavlja se protukišna rešetka. Iza protukišne rešetke dolazi zaklopka koja se nalazi ili u potpuno otvorenom ili u potpuno zatvorenom položaju. Kada se zračni sustav uključi, zaklopka se automatski otvara pomoću elektromehaničkog pogona. Obrnut je slučaj pri isključivanju jedinice kada se zaklopka u potpunosti zatvara prema vanjskom okolišu. Na ogranke dobavnih i odsisnih kanala prostorija postavljaju se regulatori konstantnog protoka zraka. Zračni kanali spajaju se preko fleksibilnih kanala na priključne kutije istrujnih/odsisnih otvora. Kondicioniranje zraka vrši se pomoću pločastog rekuperatora topline i vodenog izmjenjivača topline unutar rekuperatorske jedinice. Osjetnik temperature postavlja se iza izmjenjivača, u struju dobavnog zraka. U ovisnosti o očitanoj i postavljenoj vrijednosti, automatika rekuperatorske jedinice upravlja s regulacijskim ventilom, mijenjajući protok vode kroz izmjenjivač topline. Za režim grijanja, hladni vanjski zrak temperature $-7,7^\circ\text{C}$ prolazi djelomično (jedan dio protoka se odvoji kroz *bypass*) kroz pločasti rekuperator gdje prima toplinu od strane toplijeg zraka iz pomoćnih prostorija. Zagrijani vanjski zrak se dodatno dogrijava na izmjenjivaču topline (režim vode $35/30^\circ\text{C}$) na temperaturu od 19°C , za što je potreban kapacitet od $3,34 \text{ kW}$. U periodu hlađenja, zrak projektne temperature $31,8^\circ\text{C}$ predaje osjetnu toplinu struji istrošenog zraka te

se dodatno hladi na izmjenjivaču topline (režim vode 7/12 °C) na temperaturu od 20 °C, za što je potreban rashladni kapacitet hladnjaka od 2,69 kW.

Zasebni sustav odsisne ventilacije predviđen je za sanitarne prostorije. Na kanal kružnog poprečnog presjeka spaja se prigušivač zvuka PZM-160-500, odsisni kanalski ventilator KVO160, nepovratna zaklopka i ventilacijska deflektor kapa. Ukupni odsisni protok za prostorije sanitarija iznosi 250 m³/h. Vrata sanitarija se podrezuju kako bi se omogućilo prestrujavanje zraka. Na ogranke muškog i ženskog WC-a postavljaju se regulatori konstantnog protoka zraka RKP-C-125. Odsisni ventilator se spaja fleksibilnim spojem na kanale, kako bi se spriječilo prenošenje vibracija i buke. Uključuje se u rad sa signalom senzora prisutnosti te se isključuje iz rada nakon 5 minuta po izlasku osobe iz prostora sanitarija.

8. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom predstavljeno je rješenje sustava klimatizacije trgovine koja se nalazi u sklopu trgovačkog centra. Trgovački centar je smješten na području grada Rijeke. Proračun toplinskih gubitaka napravljen je prema normi HRN EN 12831. Toplinska opterećenja izračunata su prema smjernici VDI 2078. Trgovina se dijeli na dvije zone, prostor prodaje i pomoćne prostorije. Svaka od navedenih zona ima zaseban zračno-vodeni sustav.

Za prostor prodaje projektiran je sustav s kazetnim ventilokonvektorima kao ogrjevnim/rashladnim tijelima i centralnom klimatizacijskom jedinicom za pripremu ventilacijskog zraka. Klimatizacijska jedinica radi s promjenjivim protokom zraka. U dobavne kanale ugrađuju se regulatori varijabilnog protoka. Protok se regulira u ovisnosti o izmjenjenim vrijednostima CO₂ unutar prostorije. Projektni dobavni protok iznosi 9600 m³/h, a odsisni 8600 m³/h. Sorpcijski rotacijski regeneratorski omogućuje povrat topline iz struje istrošenog zraka. Unutar dvocijevnog vodenog sustava cirkulira otopina etilen-glikola s masenim udjelom od 25%. Temperaturni režim vode za grijanje iznosi 35/30°C, dok za hlađenje iznosi 7/12°C. Kao izvor ogrjevnog i rashladnog učina koristi se dizalica topline zrak-voda kapaciteta 91,9 kW za grijanje i 128,9 kW za hlađenje.

Druga izvedba zračno-vodenog sustava namijenjena je pomoćnim prostorijama. U sklopu pomoćnih prostorija također su predviđeni ventilokonvektori, pretežno u parapetnoj izvedbi. Kroz ventilokonvektore struji voda režima 35/30°C za period grijanja i 7/12°C za period hlađenja. Kao izvor topline koristi se dizalica topline zrak-voda kapaciteta 27,1 kW za grijanje i 28 kW za hlađenje. Priprema vanjskog zraka za potrebe ventilacije vrši se u podstropno ugrađenoj rekuperatorskoj jedinici. Povrat topline omogućen je preko pločastog rekuperatora. Dobavni i odsisni protoci su konstantni i jednaki te iznose 950 m³/h.

Za prostorije sanitarija predviđen je zasebni odsisni ventilacijski sustav. Ukupni odsisni protok iznosi 250 m³/h.

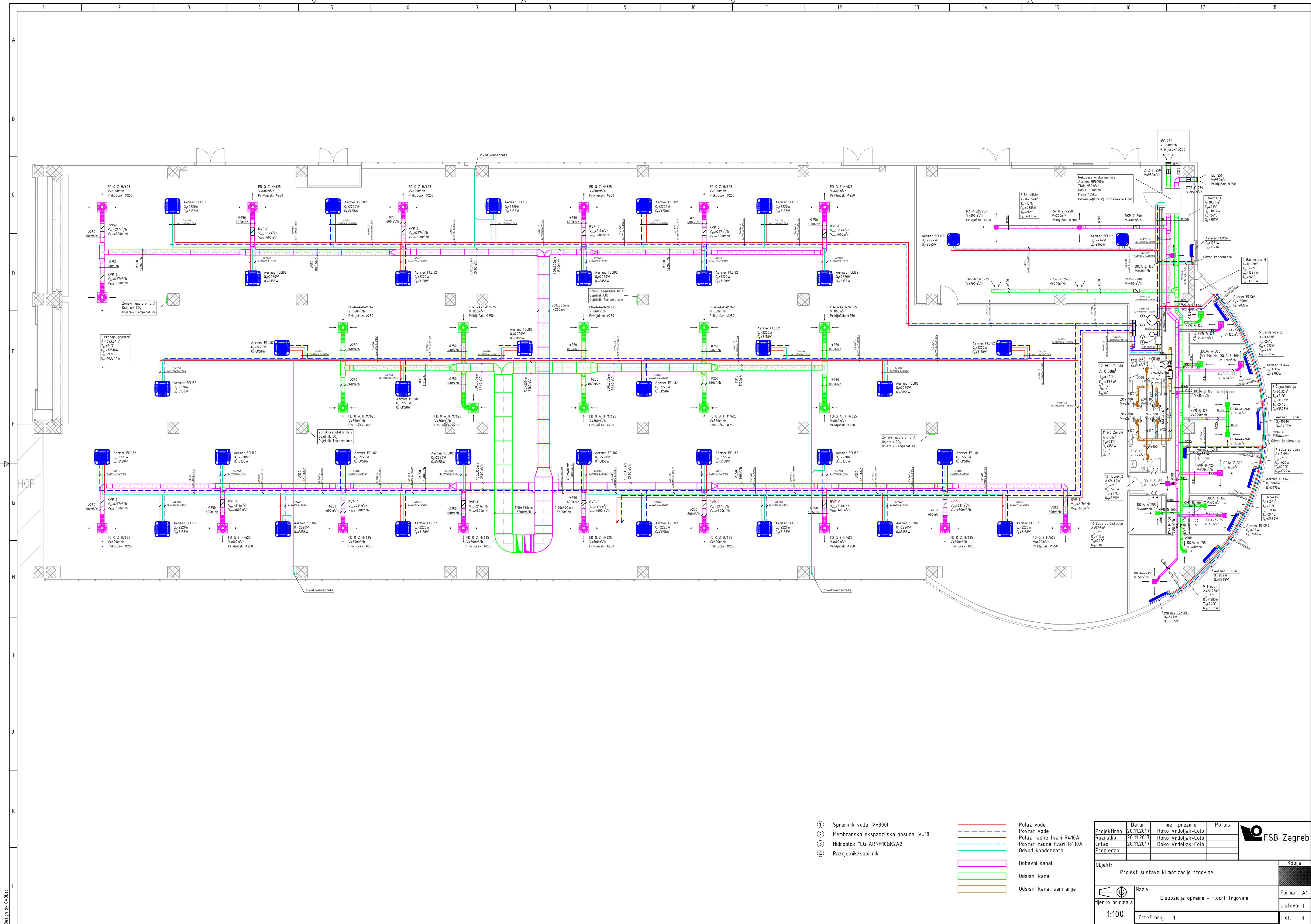
Izvedeno rješenje s dva odvojena zračno-vodena sustava omogućuje fleksibilnost u radu i bolju prilagodbu prema prostorijama različite namjene.

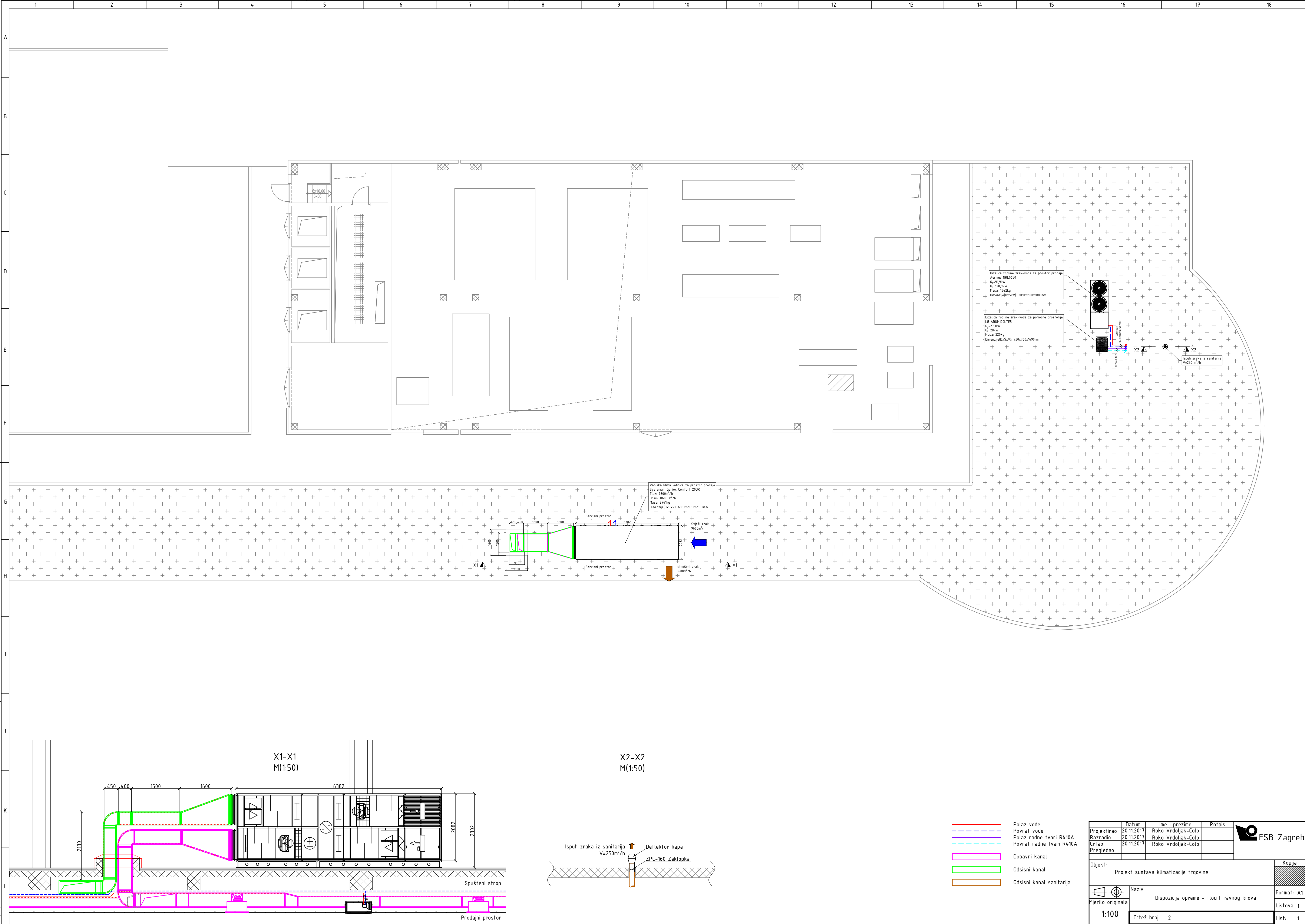
LITERATURA

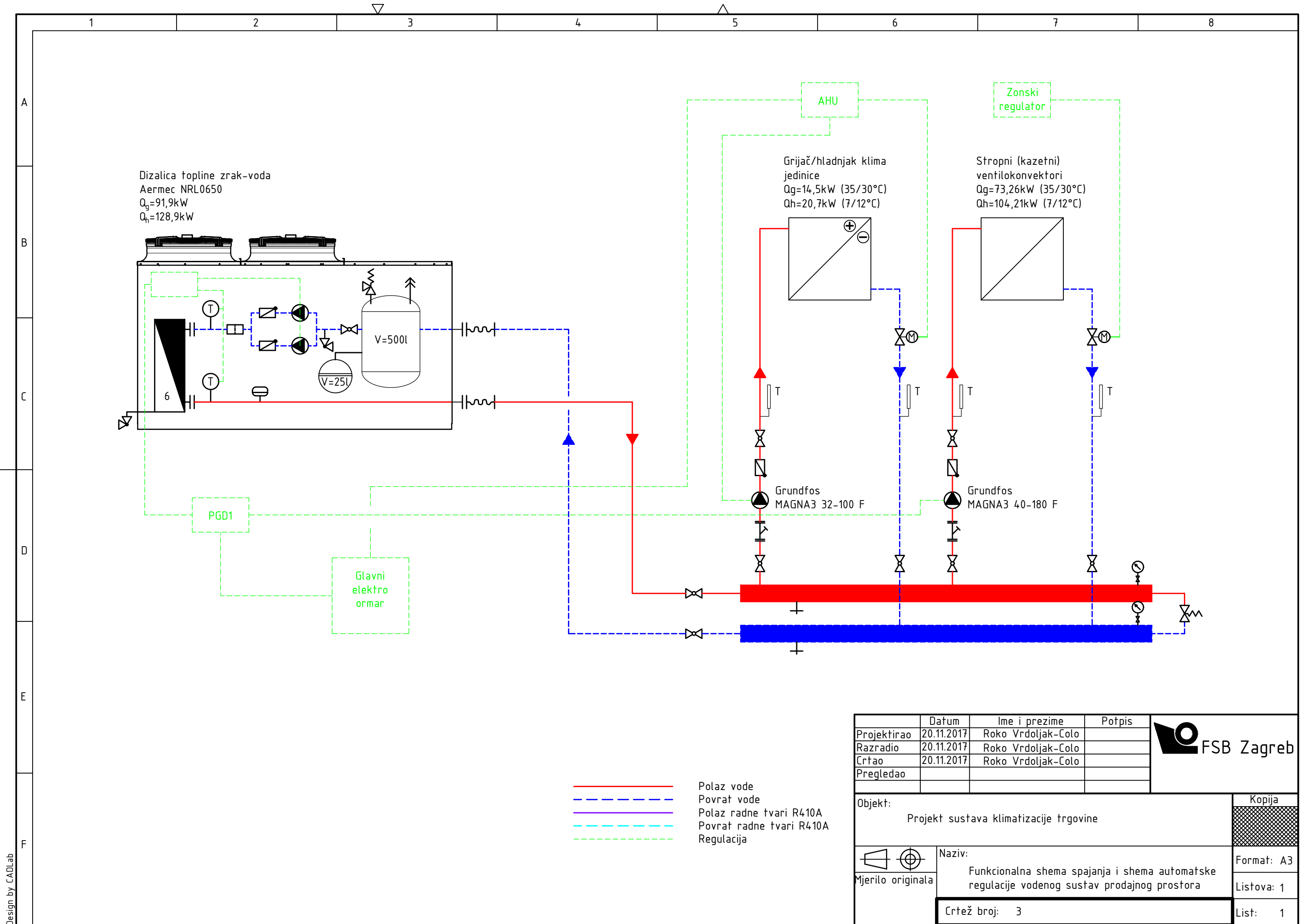
- [1] I. Balen: Podloge za predavanja iz kolegija „Grijanje“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [2] I. Balen: Priručnik za energetska certificiranje zgrada, poglavlje 8, Program Ujedinjenih naroda za razvoj – UNDP, 2010.
- [3] Shan K. Wang: Handbook of Air Conditioning and refrigeration, Second Edition, McGraw-Hill, 2000.
- [4] ASHRAE Handbook HVAC Applications, 2007.
- [5] Podloge za vježbe iz kolegija „Grijanje“: Metoda proračuna toplinskog opterećenja prema HRN EN 12831.
- [6] I. Balen: Podloge za predavanja iz kolegija „Klimatizacija“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [7] ASHRAE Standard 62.1-2013: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2013.
- [8] Katalog tvrtke Hoval: Rotary heat exchangers for Heat Recovery in Ventilation Systems; Handbook for Design, Installation and Operation, 2015.
- [9] Katalog tvrtke „AERMEC“
- [10] ME Global: Ethylene Glycol Product Guide, 2008.
- [11] Katalog tvrtke „LG“

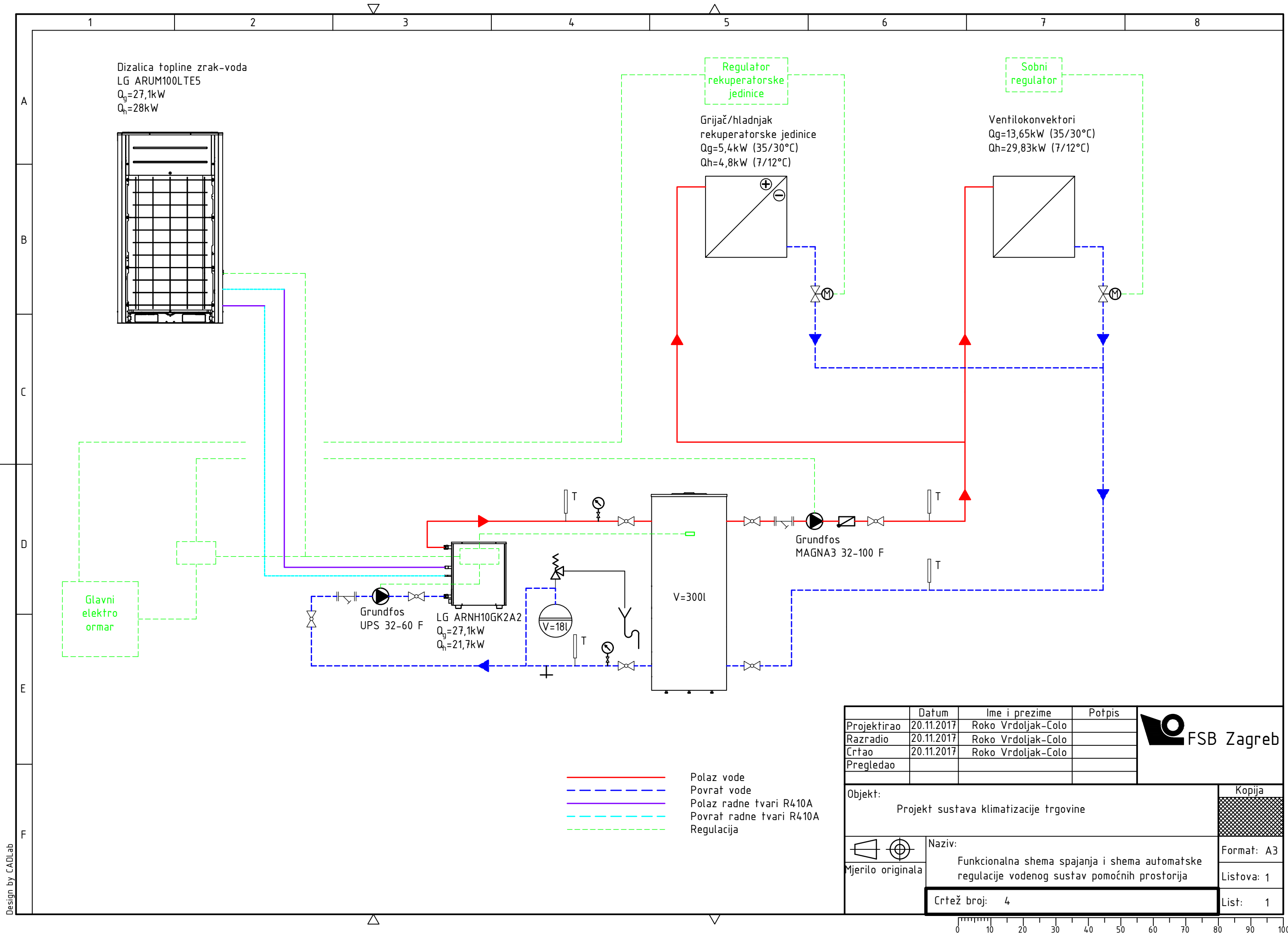
PRILOZI

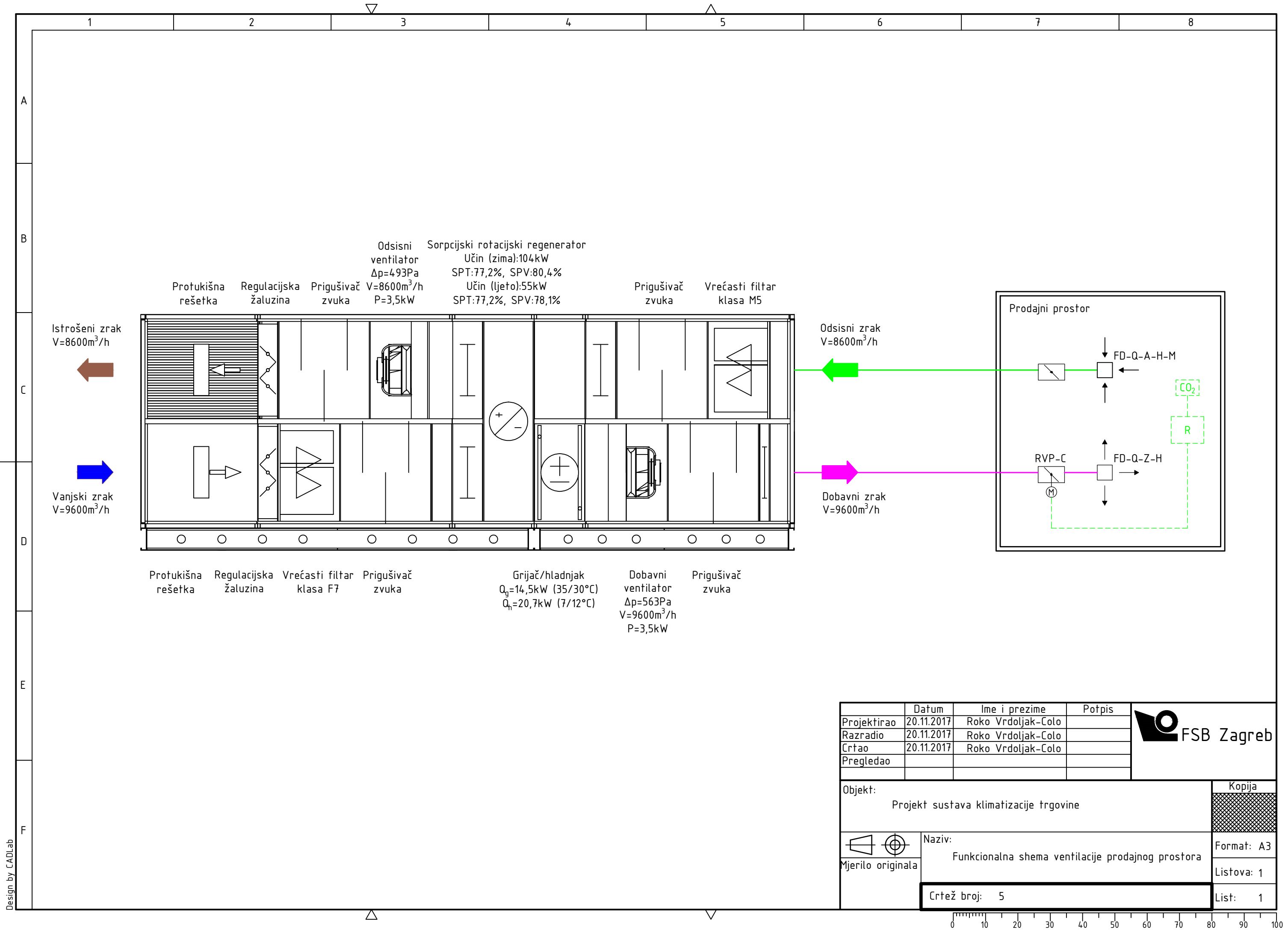
- I. Tehnička dokumentacija
- II. CD-R

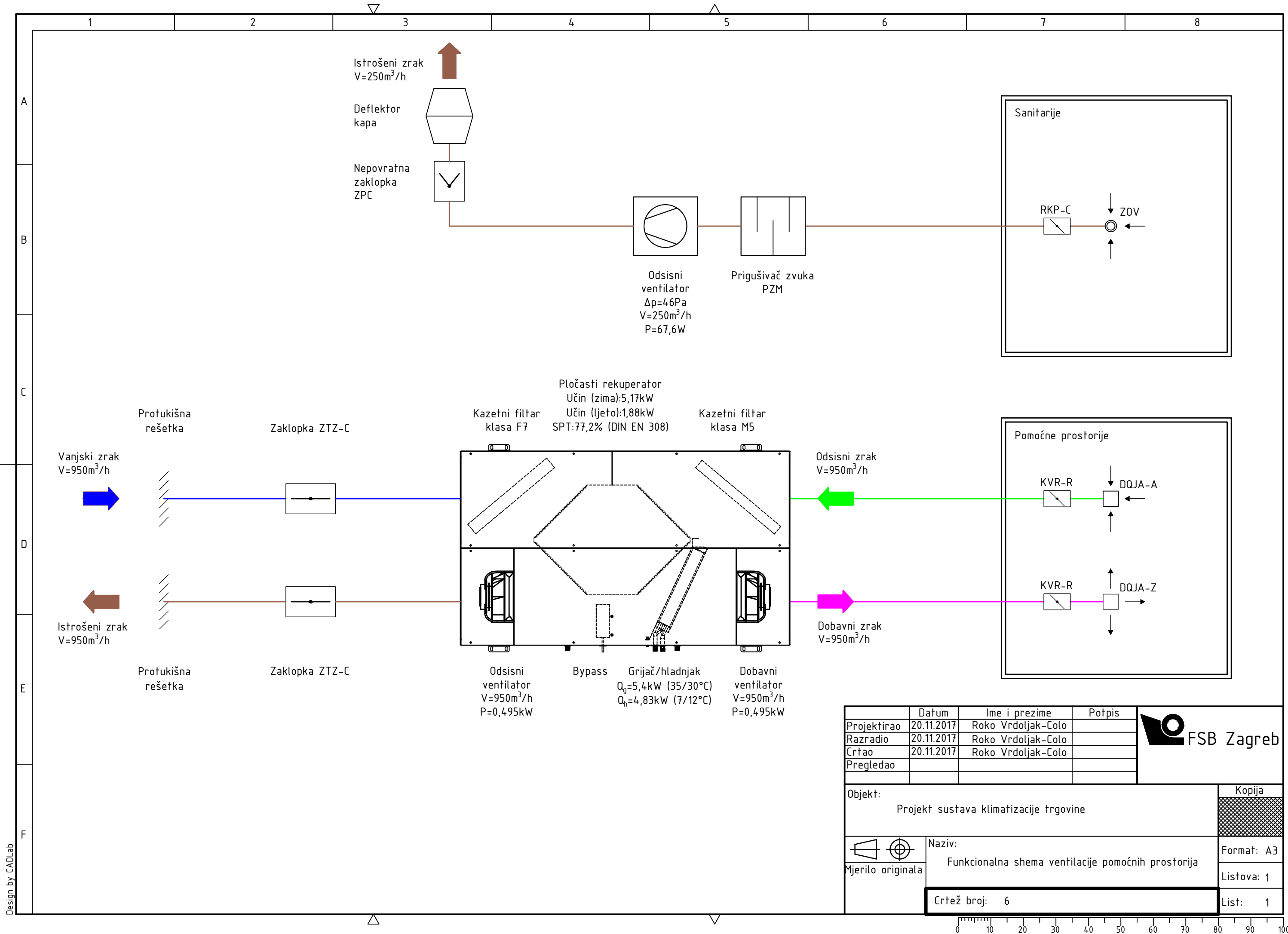


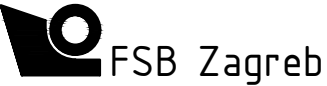
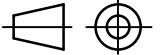


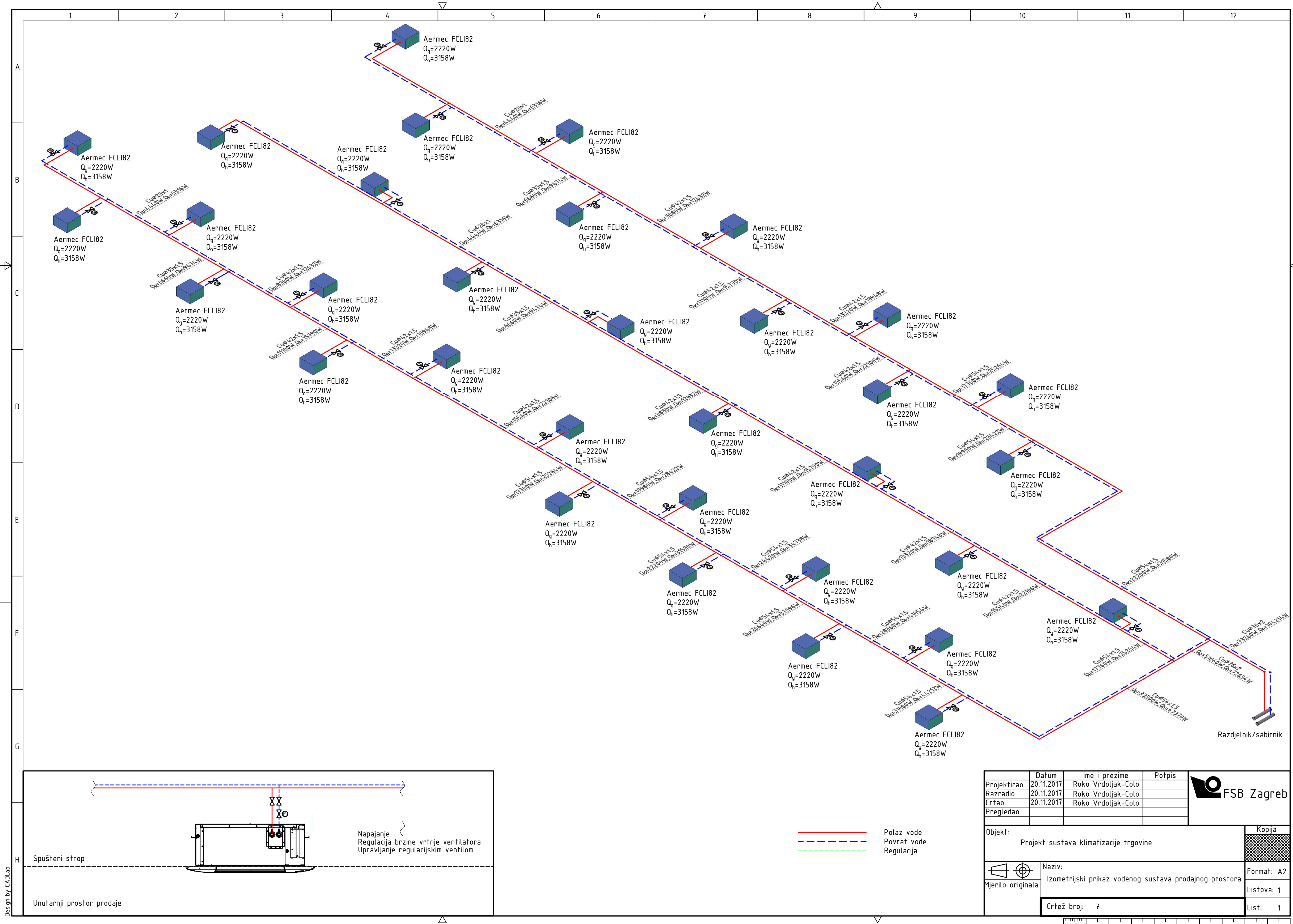




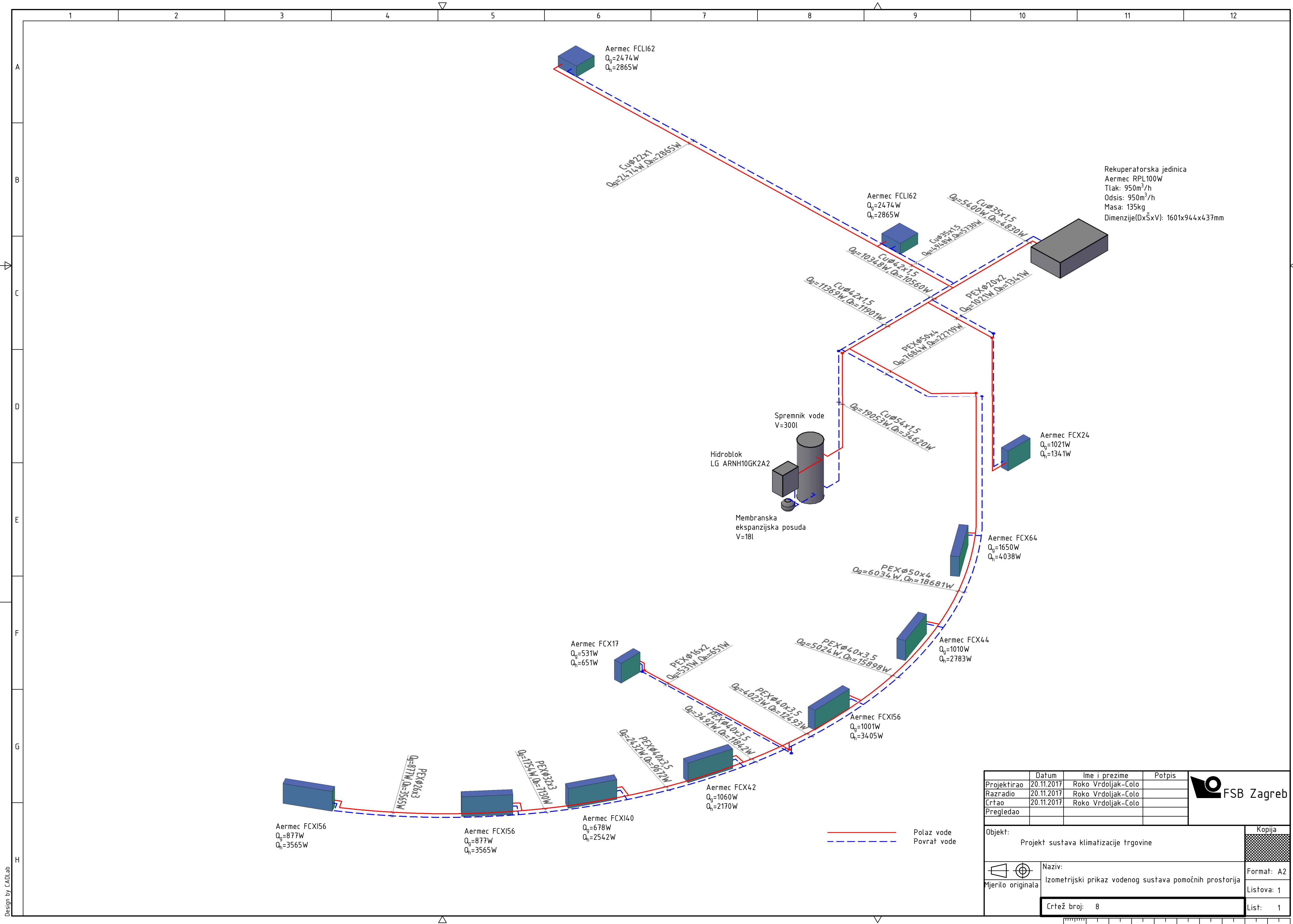




	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Razradio	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Crtao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Pregledao				
Objekt: Projekt sustava klimatizacije trgovine				Kopija
 Naziv: Funkcionalna shema ventilacije pomoćnih prostorija				Format: A3
				Listova: 1
				List: 1
Crtež broj: 6				

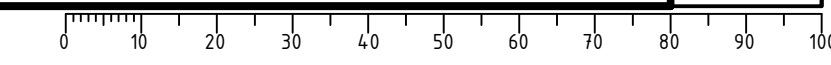


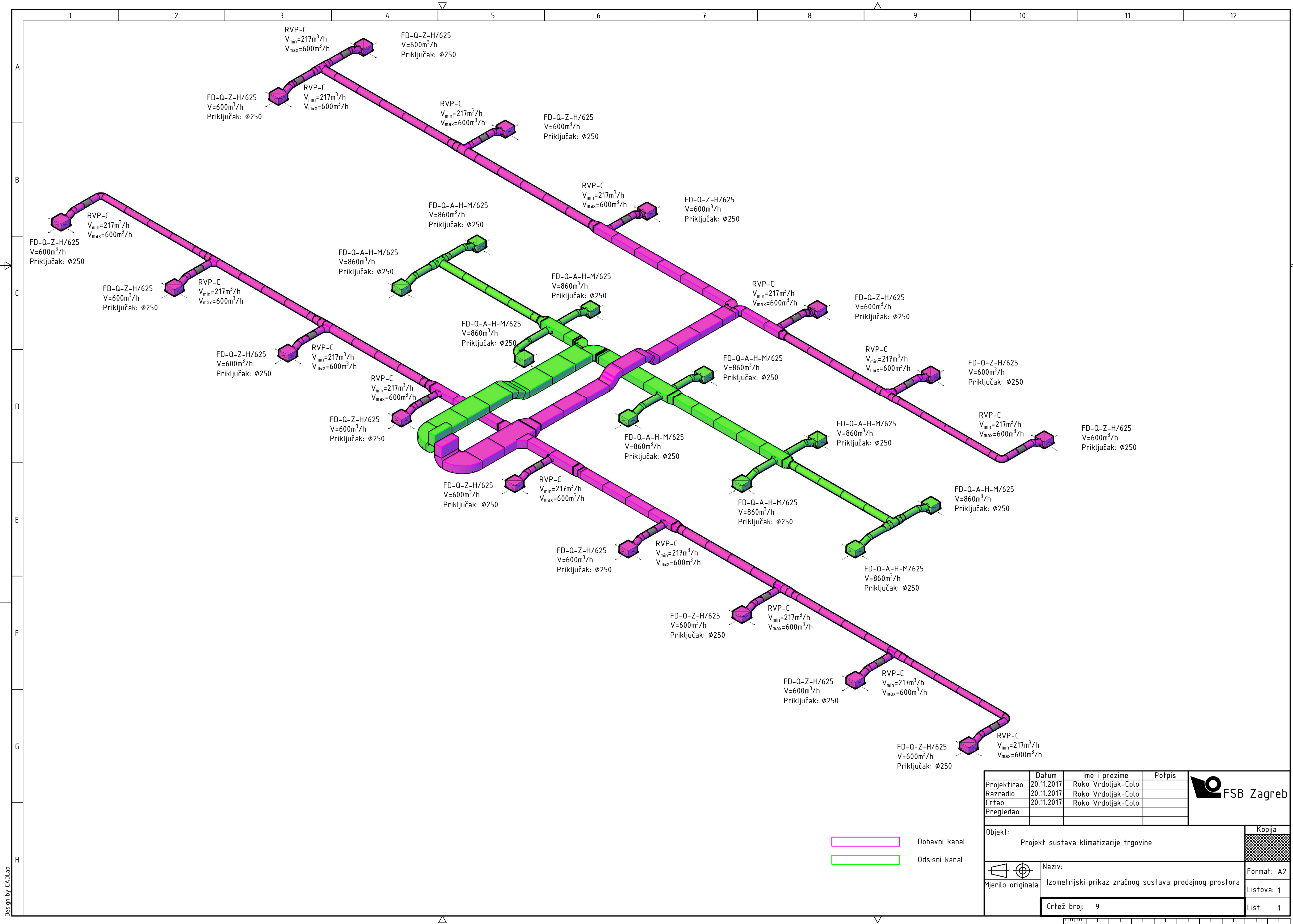
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Crtao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Pregledao				
Objekt:				Kopija
Projekt sustava klimatizacije trgovine				
Naziv:				Format: A2
Izometrijski prikaz vodenog sustava prodajnog prostora				Listova: 1
Crtež broj: 7				List: 1



Design by CADLab

Projekтираo	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Crtao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Pregledao				
Objekt: Projekt sustava klimatizacije trgovine				Kopija
				Format: A2
Mjerilo originala				Listova: 1
Crtež broj: 8				List: 1



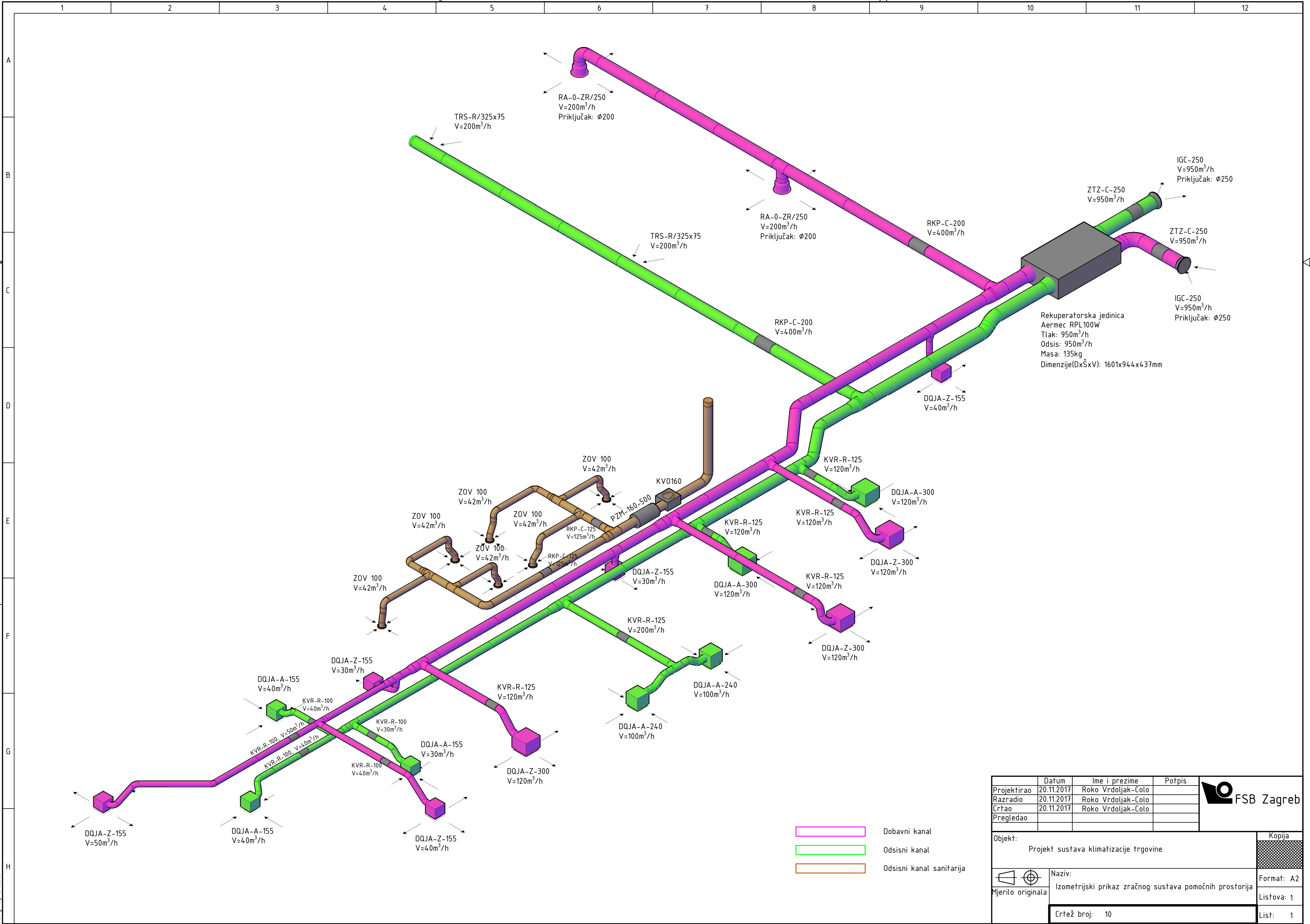


Design by CADLab

- Dobavni kanal
- Odsisni kanal

Projektirao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo	Potpis	
Razradio	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Crtao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Pregledao				
Objekt: Projekt sustava klimatizacije trgovine				Kopija
Naziv: Izometrijski prikaz zračnog sustava prodajnog prostora				Format: A2
Mjerilo originala				Listova: 1
Crtež broj: 9				List: 1





Projektirao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo	Potpis	
Razradio	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Crtao	20.11.2017	Roko Vrdoljak-Colo		
Pregledao				
Objekt: Projekt sustava klimatizacije trgovine				Kopija
Naziv: Izometrijski prikaz zračnog sustava pomoćnih prostorija				Format: A2
Mjerilo originala				Listova: 1
Crtež broj: 10				List: 1